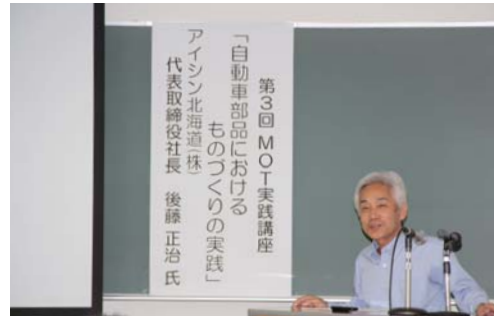


室蘭工業大学

# 地域共同研究開発センター 研究報告

No. 26



Feb. 2016



*Center for Cooperative Research  
and  
Development  
Muroran Institute of Technology*



# 目次

## 【平成 26 年度 共同研究プロジェクト成果】

- (1) 使用済み核燃料輸送・貯蔵容器に使用される鋳鉄材料の開発・・・・・・・・・・ 1  
木口 昭二, 清水 一道, 楠本 賢太
- (2) 有珠山の噴火予知と地熱エネルギー開発に関する実践的研究：  
CSAMT法電磁探査による有珠山深部の地殻構造探査・・・・・・・・・・ 6  
後藤 芳彦, 城森 明
- (3) 環境負荷を低減する汎用型高炉セメントの創生  
ー コンクリートの強度発現性と耐久性の評価 ー・・・・・・・・・・ 9  
濱 幸雄, 佐川 孝広, 塚本 康誉
- (4) 積雪寒冷地域における道路構造物の高度化・長寿命化に関する研究・・・・・・・・ 15  
川瀬 良司, 小室 雅人, 岸 徳光, 栗橋 祐介
- (5) 無人航空機搭載用可変指向アンテナの研究・・・・・・・・・・ 20  
上羽 正純, 北沢 祥一
- (6) FRP シート接着により曲げ補強した H 形鋼梁の耐荷性状・・・・・・・・・・ 25  
三上 浩, 栗橋 祐介, 小室 雅人, 岸 徳光
- (7) 航空機ジェットエンジン耐酸化コーティング手法としてのアルミニウム・ニッケル複合  
めっきの開発・・・・・・・・・・ 33  
金 志元, 佐伯 功, 吉岡 隆幸, 成田 敏夫

## 【平成 26 年度 プレ共同研究成果】

- (1) 音響計測によるコンクリート壁面高速診断システムの開発・・・・・・・・・・ 39  
田中 秀典, 小針 憲司, 板倉 賢一, 山崎 剛嗣
- (2) 小型無人ヘリコプターを用いた空中電磁探査の実用化・・・・・・・・・・ 46  
後藤 芳彦, 城森 明
- (3) 特定のアミノ酸残基と反応する試薬の開発・・・・・・・・・・ 49  
庭山 聡美, 黒野 定
- (4) 鋳造シミュレーションおよび 3D プリンタを用いた鋳型製造技術の開発・・・・・・・・ 52  
鎌田 尚幸, 清水 一道, 船曳 崇史
- (5) 炭化タングステン鋳ぐるみ耐摩耗鋳鋼材料の開発・・・・・・・・・・ 55  
伊藤 淳, 清水 一道, 楠本 賢太
- (6) 表面弾性波センサーを用いた乳房炎早期検出に関する研究・・・・・・・・・・ 59  
福田 永, 今井 哲朗, 夢田 芳広

## 【第 26 回フロンティア技術検討会】

- テーマ：「水素エネルギー社会の実現に向けて」・・・・・・・・・・ 63

## 【平成 26 年度 共同研究等事業実績】

- 共同研究プロジェクト, 民間等との共同研究, 受託研究, プレ共同研究等・・・・・・・・ 77

## 【平成 26 年度 事業活動】

- 研究の活性化, 共同研究の推進, 外部資金獲得等・・・・・・・・・・ 81

## 【表紙写真】

左上：デジタルエンジニアリング

人材育成フォーラム(H26.5.9)(91頁) 右上：第3回MOT実践講座(H26.7.15)(87頁)

左中：第26回フロンティア技術検討会(H26.10.16)(91頁) 右中：第4回CRDセミナー(H26.10.25)(90頁)

左下：高度技術研修(H26.11.18)(90頁)

右下：北海道医療福祉産業研究会(H27.3.20)(99頁)



**【平成 26 年度 共同研究プロジェクト成果】**



# 使用済み核燃料輸送・貯蔵容器に使用される鋳鉄材料の開発

木口 昭二\*1, 清水 一道\*2, 楠本 賢太\*2

## 1 はじめに

2011年3月11日の東日本大震災による影響で破壊された福島第一原子力発電所（東京電力）から取り出されるデブリを含め、その他の原子力発電所から発生するすべての放射性廃棄物などを収納する容器を製造するための技術開発は、廃炉事業における不可欠な課題である。放射性廃棄物は安全に、かつ確実に輸送および貯蔵されなければならないものであり、このことの重要性は全世界に対する我が国に課せられた使命でもある。

こういった背景から、輸送および貯蔵時における容器の信頼性を確保するには強度設計に基づく材料の選定と構造設計であり、そのなかに考慮しなければならない問題として①放射性物質の密封・閉じ込み、②放射線の遮へい、③臨界防止、④除熱の4つの機能が要求される。これらの機能を具備した設計要求に対する工業的な役割を十分に発揮する材料として、超厚肉鋳物が廃炉先進国のドイツでは選定され、着実に廃炉計画が推進されている。鋳物は設計形状の自由度が高いこと、納期が迅速であることの優位性から、海外や国内での製造・納入実績がある。

しかしながら、最大で直径約2.5mで、高さ約6mを有し、肉厚0.5mの約100tonの超厚肉鋳物のCask（キャスク）を想定すると、健全に製造できる条件を確立すると共に、それに特化した専用設備が必要となり、さらには円筒状Caskの密閉技術と内部から発生する熱を除去する構造と、それらに伴う信頼性強度の確保や品質保証技術の確立など、解決しなければならない多くの課題があることも事実である。

鋳鉄鋳物は銑鉄、戻り屑、スクラップ、各種添加鉄合

金を溶解して製造される。中でも、球状黒鉛鋳鉄は鋼の中に黒鉛が体積率で約10%存在する複合材料とみなすことができる。この球状黒鉛鋳鉄は片状黒鉛鋳鉄（ねずみ鋳鉄）に比べ強度、延性など機械的性質が優れており、強度部材として高い信頼性を有している。また、他の鉄鋼材料と同様に、熱処理によりその機械的性質は変化し、高強度材から高延性材などへ任意に操作することができる。

Caskに用いられる厚肉鋳物では冷却が極端に遅くなるので、鋳物各部における黒鉛および基地組織の均質性を実現しなければならない。静的強度（引張強さ、伸び及び硬さ）と低温における靱性特性（衝撃吸収エネルギーと破壊靱性値）が要求される。特に、氷点以下の状況下において、球状黒鉛鋳鉄が低温脆性を引き起こすので、Caskに用いた場合、衝撃力が加わった時に、変形せずに破断し、即座にCaskの破壊へ繋がる可能性がある。Caskなどは、JIS G5504でこれらの規定が表示されているが、完全にクリアできる超厚肉鋳物にする必要がある。そのため、低温域でも靱性を確保した球状黒鉛鋳鉄の開発は重要な課題である。

球状黒鉛鋳鉄は常温で高い衝撃吸収エネルギーを有し、その衝撃破面は延性破壊を呈すが、低温域（273K以下）では、吸収エネルギーは低下し、脆性破壊を呈する。脆性破壊を起こす材料を構造用部材に用いることは望まれない。そのため、Caskなど低温環境下で使用する場合は、低温域における球状黒鉛鋳鉄の衝撃吸収エネルギーを高くする必要があり、253K以下で、6J以上の吸収エネルギーが要求されている。Caskとして用いるための球状黒鉛鋳鉄の機械的性質をTable 1に示す。

球状黒鉛鋳鉄を強靱化する手法としては基地組織の微細化や黒鉛球状化率の向上などが考えられる。さらに、低温域では基地組織を延性の高いフェライト組織にすることで、衝撃に対して強くなる。鋳物を強靱化するには合金元素の添加や熱処理に依存するところが大きい。実際、風力発電用風車の導入率の多いデンマークやドイツなどの欧州各国ではNiを添加し、熱処理

\*1：近畿大学 理工学部

\*2：室蘭工業大学 もの創造系領域 機械工学ユニット

した球状黒鉛鑄鉄を風車の部品に利用している。その一方で、合金元素の添加や熱処理は製造コストを増加させるため、鑄放しでの製造が期待されている。著者らは、接種処理で組織を変え、低温脆性を改善できることを明らかにした<sup>2)</sup>。しかしながら、凝固組織は肉厚に左右されるため、厚肉でも接種が有効か否か判断する必要がある。また、近年のレアアース価格高騰の問題から、接種剤にはレアアースレス剤の使用が求められている。

そこで本研究は、レアアースレス接種剤で接種した溶湯を肉厚の異なる形状に鑄造し、シャルピー衝撃試験を行い、衝撃吸収エネルギー及び接種処理の評価を行った。

## 2 供試材および実験方法

### 2.1 供試材

高純度銑鉄及び鋼板屑(自動車用鋼板の打ち抜き屑、プレス打ち抜き屑)を1:1の割合で配合して、高周波扁平つば形誘導炉にて溶解した。溶解した銑鉄(溶湯)をサンドイッチ法にて球状化処理を施した後、接種処理をして、Yブロック型の砂型と直方体ブロック型へ鑄造した。

試料は、最小幅部約50mmのYブロック型形状と最小幅部約170mmの直方体ブロックの形状とした。それぞれの形状の寸法をFig. 1に示す。それぞれ作製した10個の供試材から、JIS4号シャルピー衝撃試験片を切り出した。以降、供試体の最小幅部約50mmのYブロック形状をT50、最小幅部約170mmの直方体ブロッ

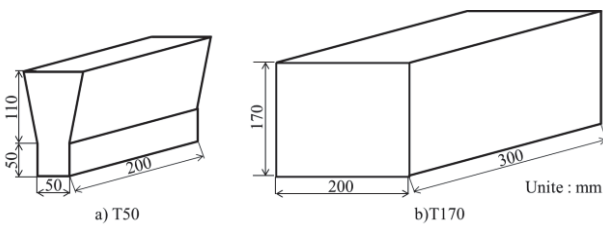


Fig. 1 鑄造形状

クの形状をT170と示す。試験片はYブロックから横方向に切出した。

### 2.2 接種剤及び接種方法

鑄鉄において接種とは、溶湯の鑄込み直前に合金を少量添加することで、チルの晶出の防止や黒鉛粒数の向上など、組織を改善するために行われる処理のことである。一般に広く用いられている接種剤はSi系合金である。

Siは準安定系の鉄-セメンタイト共晶温度を下げ黒鉛化を促し、溶湯中に融解、混合する過程で溶湯中の炭素と反応してSiC粒子が形成され溶湯中に分散して核生成物質として作用し、結晶を微細化させる<sup>3)</sup>と考えられている。そのような利点があるため、接種剤にはSiを含む合金を用いた。

本研究では通常の接種剤としてFe-Si-Bi(以下Biと表記する)とレアアースレス接種剤としてFe-Si-Ca(以下Caと表記する)を使用した。

Biの添加により、チャンキー状黒鉛を誘発し、黒鉛を微細化するなど、様々な効果が報告<sup>4)</sup>されている。

本研究では、特に黒鉛の微細化では他の接種剤よりも顕著な効果を発すると言われている点を考慮し使用した。Caは球状化剤として広く用いられているMgと同族元素であり、球状化の作用を持つ報告がされている。また、近年レアメタル及びレアアースが供給不足となる恐れがあるため、レアメタル及びレアアースレスの接種剤の使用が望ましい。そこで、黒鉛球状化率の向上や微細で均一な組織化を狙い、Caを接種剤として用いた。

供試材の接種方法は、前期接種(一次接種)は炉で溶解した溶湯を取鍋に移した後に接種剤を添加する取鍋接種法を採用し、後期接種(二次接種)は溶湯を鑄型へ注湯

Table 2 球状化剤及び接種剤の化学成分 (mass%)

	Si	Mg	Ca	Bi	La	Al	RE	Fe
Spheriodizing agent	46.19	5.04	2.26	-	0.65	0.42	-	Bal.
Fe-Si-Bi	69.71	-	1.19	1.58	-	1.02	1.01	Bal.
Fe-Si-Ca	55.24	-	31.68	-	-	0.86	-	Bal.

Table 1 現行のJISに規定されている球状黒鉛鑄鉄に要求される設計基準

JIS	種類の記号	肉厚(mm)	引張強さ(N/mm <sup>2</sup> )	0.2%耐力(N/mm <sup>2</sup> )	伸び(%)	硬さ(HB)	靱性特性		
							試験温度(°C)	シャルピー吸収エネルギー平均値(J)	破壊靱性値(MPa√m)
G 5502	FCD350-22L	75mm以下	350以上	220以上	22以上	150以下	-40	12以上【9以上】	-
G 5502	FCD400-18L	75mm以下	400以上	250以上	18以上	130-180	-20	12以上【9以上】	-
G 5504	FCD300LT	550mm以下	300以上	200以上	12以上	-	-40	6以上【4以上】	-
G 5504	キャスト	550mm以下	300以上	200以上	12以上	-	-40	6以上【4以上】	50以上



するときに、接種剤を溶湯と同時に鑄型へ流し込み添加する方法である注湯流接種法を採用した。添加量は球状化剤を 1.3mass%，Fe-Si-Bi を計 0.15mass%，Fe-Si-Ca を計 0.3mass% とし、球状化処理及び取鍋接種は 1743K で行い、注湯流接種は 1623K で行った。使用した球状化剤及び接種剤の化学成分を Table 2 に示す。

球状化処理後に前期接種のみの供試材と、球状化処理後に前期接種及び後期接種後の 2 種の接種で製造した供試材を用いて評価を行った。以降、接種剤 Bi を用い前期接種のみとした材料を Bi 取、前期接種及び後期接種したものを Bi 取+流と示す。また、接種剤 Ca を用い前期接種のみとした材料を Ca 取、前期接種及び後期接種したものを Ca 取+流と示す。

### 2.3 シャルピー衝撃試験

供試材の衝撃吸収エネルギーの測定にはシャルピー衝撃試験機を用いた。

2.1 で示した JIS4 号シャルピー試験片をドライアイスとエタノールを用いて 233, 253, 273, 293K の各温度に冷却した後、シャルピー衝撃試験機にセットし、試験機のハンマーを 139.5° に持ち上げシャルピー衝撃試験を行った。そのときのハンマーの振り上がり角度と持ち上げ角度(139.5°)を測定し、次の式に当てはめて吸収エネルギーを算出した。

$$E = WD(\cos \beta - \cos \alpha)$$

W=87(N)：ハンマー質量

D=0.326(m)：ハンマーの回転軸中心線から重心までの距離

$\alpha = 139.5^\circ$ ：持ち上げ角度

$\beta$ ：振り上がり角度

特定の温度での試験が行われる場合、試験片の温度を以下の条件に保ち、測定を行った。温度測定位置は、試験片を浸けている液体とした。

- (1)ドライアイスとエタノールにおける設定温度との誤差は±2K。
- (2)特定の温度に保持した後、300s 以上試験片を溝漬ける。
- (3)特定の温度に保持した後、5s 以内に試験を行う。

### 2.4 組織観察及び硬さ測定

シャルピー衝撃試験片から一部を切り出し、光学顕微鏡にて組織観察を行った。また、基地組織の硬さはマイクロビッカースにて荷重 9.8N にて測定した。

### 2.5 黒鉛球状化率及び粒径測定

黒鉛球状化率の測定は光学顕微鏡で観察した組織の画像を、画像解析ソフトを用いて測定した。観察画像の倍率は 100 倍とし、測定視野を 5 視野とした。球状化率は黒鉛の形状を I~VI のパターンに分けて、全ての

黒鉛数に対する V と VI の黒鉛数の割合を測定した。各視野のデータの平均を球状化率、粒数、粒径及び面積率とした。

### 2.6 フェライト結晶粒数及び粒径測定

フェライト結晶粒径の測定は光学顕微鏡観察で観察した画像から、求積法を利用して測定した。測定視野を 5 視野とし、結晶粒数及び結晶粒径を測定し、その平均をフェライト結晶粒径(公称粒径)とした。

## 3 試験結果及び考察

### 3.1 供試材の化学成分及び組織

作製した各供試材の化学組成を Table 3 に示す。鑄物の湯流れ性や溶解温度の観点から供試材の炭素当量値(CE 値)を 4.2~4.4% 近傍になるように成分を調整した。

各供試材の組織、基地組織の硬さについて、接種剤に Bi を使用した結果を Fig. 2 に、接種剤に Ca を使用した結果を Fig. 3 に示す。

各供試材の黒鉛球状化率、粒数、粒径、各供試材のフェライト結晶粒数及び結晶粒径の結果について接種剤に Bi を使用した結果を Table 4 に、接種剤に Ca を使用した結果を Table 5 に示す。

組織画像から、各供試材で黒鉛の形状や数に違いはあるものの、基地組織はほぼ全てフェライトであった。

Table 3 供試材の化学組成 (mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Mg
Bi Led	3.60	2.27	0.15	0.021	0.005	0.042
Bi Led + Str	3.75	2.15	0.22	0.019	0.004	0.039
Ca Led	3.57	2.29	0.16	0.019	0.004	0.044
Ca Led + Str	3.50	2.02	0.16	0.020	0.004	0.046

Bi Led : Bi ladle inoculation

Bi Led + Str : Bi ladle + stream inoculation

Ca Led : Ca ladle inoculation

Ca Led + Str : Ca ladle + stream inoculation

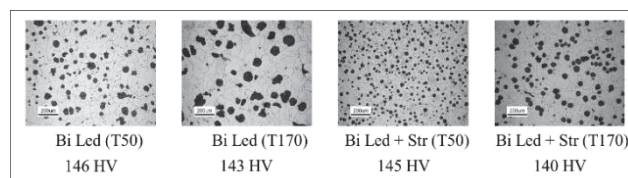


Fig. 2 ビスマス合金接種試料の組織写真とフェライト硬さ

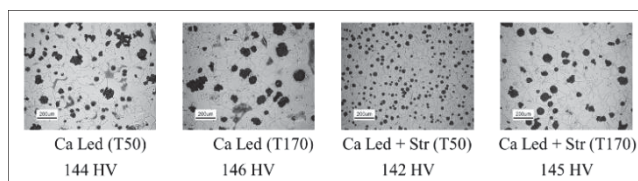


Fig. 3 カルシウム合金接種試料の組織写真とフェライト硬さ

画像解析結果から、T50の供試材と比較して、T170のような厚肉の供試材の黒鉛球状化率及び黒鉛粒数は低下していた。なお、面積率には接種条件や試験片形状によらず、10%前後であった。そして、基地のフェライト結晶にも接種条件や試験片形状の影響が見られた。取鍋接種と注湯流接種をした供試材は40 $\mu\text{m}$ 以下のフェライト結晶粒を有した。また、T170の供試材はT50よりも粗大な結晶粒であった。接種処理は時間と共にその効果が薄れてくるフェーディングが起こることが知られており、これは、注湯流接種を行ったことにより、接種のフェーディングの影響が弱まり、黒鉛粒数を増加させて、結晶のデンドライト成長の障壁となり、フェライトを微細化させたと考えられる<sup>5)</sup>。また、最小幅部が170mmとなったことにより、冷却速度が小さくなり、結晶の成長する時間が増加したため、結晶粒の粗大化が起こったと考えられる。

Table 4 ビスマス合金接種試料の黒鉛とフェライト粒径の分析

	Nodularity (%)	Nodule counts (/mm <sup>2</sup> )	Diameter ( $\mu\text{m}$ )	Area fraction of graphite (%)	Grain number (/mm <sup>2</sup> )	Ferrite grain size ( $\mu\text{m}$ )
Bi Led (T50)	76.5	83	39.1	9.9	571	42.1
Bi Str (T170)	66.4	34	61.7	10.0	445	47.5
Bi Led + Str (T50)	85.6	217	25.6	11.1	1062	30.8
Bi Led + Str (T170)	84.9	110	35.8	11.0	717	37.9

Table 5 カルシウム合金接種試料の黒鉛とフェライト粒径の分析

	Nodularity (%)	Nodule counts (/mm <sup>2</sup> )	Diameter ( $\mu\text{m}$ )	Area fraction of graphite (%)	Grain number (/mm <sup>2</sup> )	Ferrite grain size ( $\mu\text{m}$ )
Ca Led (T50)	72.5	70	41.2	9.2	581	42.0
Ca Str (T170)	63.7	31	65.1	10.3	389	50.8
Ca Led + Str (T50)	90.5	140	30.7	10.4	737	36.9
Ca Led + Str (T170)	73.5	48	50.1	9.4	687	38.3

### 3.2 衝撃試験結果

Fig. 4 にシャルピー衝撃試験の結果を示す。Table1 に示したように、球状黒鉛鑄鉄の低温域でも靱性を確保する指標として253Kにおける衝撃値が5本平均で6J以上あることが規定されている<sup>6)</sup>。まず、Bi接種供試材に着目すると、取鍋接種と注湯流接種(以下Bi取+流)をした最小幅部50mmの供試材(Bi取+流T50)は233Kで15.3Jの吸収エネルギーを示した。また、最小幅部170mmの供試材(Bi取+流T170)でも10J以上の吸収エネルギーを示した。一方、取鍋接種(以下取)のみの供試材(Bi取)の吸収エネルギーは、273K以下になるに従って、低下している。特に、Bi取T170は273Kで10J以下になり、233Kまで温度が低下すると共に、吸収エネルギーも低下した。Bi取T50は253KまではBi取+流T50と違いはなかったが、233Kになると吸収エネルギーが急激に低下した。

次に、Ca接種供試材に着目したところ、Ca取+流供

試材はCa取のみ供試材と比較して、高い吸収エネルギーを示した。Ca取+流T50の供試材は、253Kまで吸収エネルギーの低下は見られなかったが、Ca取+流T170の供試材は273Kから急激な低下が見られ、233Kでは10Jにも満たず、ほかの取T50供試材に近い値を示した。また、Ca取のみの供試材は253Kで10Jに満たず、規格を満たさなかった。なかでも、Ca取T170の吸収エネルギーは293Kにおいて、他のCa接種供試材より低く、温度が下がるにつれて、より一層の低下が見られた。

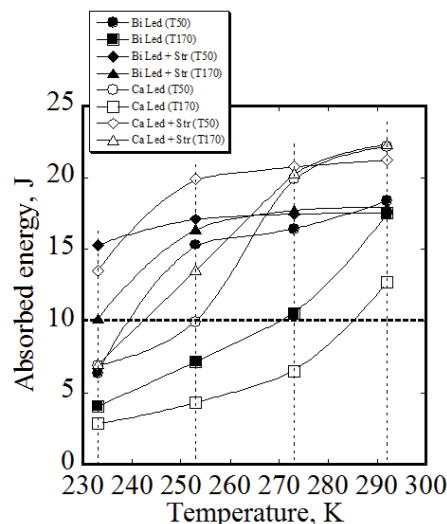


Fig. 4 シャルピー衝撃試験結果

### 3.3 考察

最初に、Bi接種供試材とレアアースレス接種剤であるCa接種供試材が球状黒鉛鑄鉄の靱性向上及び低温脆性の改善について、どのように影響したか着目した。まず、Bi接種供試材は253Kでも吸収エネルギーの低下が見られなかった。Biは黒鉛を微細化させる報告<sup>5)</sup>があり、更に衝撃特性においてフェライト粒界が、き裂伝ば停止能として作用するという報告がある<sup>7)</sup>。これらのことから、球状黒鉛の粒数増加とフェライト結晶粒の微細化によってき裂進展に対する抵抗が大きくなり、低温での衝撃値の改善に寄与したと推察できる。つまり、Bi接種の方が微細な組織を得られ、低温脆性を改善できると考えられる。そして、この傾向は厚肉になっても同様で、厚肉に鑄造した供試材の方が細かな組織を有した。このことから、厚肉鑄物へ接種する場合は、Bi接種剤が有効だと考えられる。次に、Ca接種供試材と比較すると、Bi接種供試材とは異なった点が見られた。253K以上で、最大の吸収エネルギーが高く、特に273K以上では取T50、取+流T170も他の供試材よりも高い値を示した。そして、233KではどのCa接種供試材も低い値を示した。また、取T170の供試材

の吸収エネルギーはどの供試材よりも低く、低温へなるほどさらに低下した。レアアースレス接種剤であるCa接種剤はBi接種剤と比べて、厚肉鋳物には適していないと考えられる。しかしながら、吸収エネルギーの最大値は他の接種剤よりも高いため、T50の厚さの鋳物の場合は有効であるといえる。

次に、接種方法の違いの影響に着目した。Bi接種T50を比較すると、233Kにおける吸収エネルギーに大きな違いが見られた。これは注湯流接種を行ったことにより微細な黒鉛が形成され、同時にフェライト結晶粒が細かくなっているため、低温域での吸収エネルギーが向上したと考えられる。また、Bi接種T170の供試材を比較しても、注湯流接種を行ったものは同形状に鋳造した供試材よりも微細な黒鉛を有していた。続いて、Ca接種についても同様の結果が見られた。T50及びT170に鋳造した供試材はともに注湯流接種を行った方が高い吸収エネルギーを示した。そして、取T170の供試材は、黒鉛球状化率が低く、黒鉛及びフェライト結晶粒は粗大化しており、その吸収エネルギーも本研究の供試材の中で最も低い値であった。そのため、Ca接種剤を厚肉鋳物に使用する場合は、製品の使用環境などによらず注湯流接種が必要だと考えられる。これらのことから、接種剤や鋳造形状によらず注湯流接種は球状黒鉛鋳鉄鋳物の靱性向上及び低温脆性の改善に有効だと推察した。

最後に、各供試材の黒鉛粒数及びフェライト結晶粒径と吸収エネルギーについて着目した。吸収エネルギーとフェライト結晶粒径及び黒鉛粒数の比較結果をFig.5に示す。結果からフェライト結晶粒径が小さく、黒鉛粒数が多い供試材ほど、高い吸収エネルギーを示す傾向が見られた。特に、233Kでは、フェライト結晶

粒径が $40\mu\text{m}$ 以下、黒鉛粒数が $100/\text{mm}^2$ 以上の組織を持つ供試材が10J以上の吸収エネルギーを示した。

#### 4 おわりに

黒鉛粒数が多い供試材ほど、高い吸収エネルギーを示す傾向が見られた。特に、233Kでは、フェライト結晶粒径が $40\mu\text{m}$ 以下、黒鉛粒数が $100/\text{mm}^2$ 以上の組織を持つ供試材が10J以上の吸収エネルギーを示した。

本研究は接種剤をレアアースレスとした際の球状黒鉛鋳鉄の衝撃特性の評価を目的とし、実験及び解析を行った。その結果を以下に要約する。

- 1) 本研究で用いた接種剤で接種処理した供試材はCask規格の衝撃吸収エネルギーを満足したのもあり、特に、注湯流接種を施したT50の供試材は233K( $-40^\circ\text{C}$ )において12J以上の吸収エネルギーを示した。また、T170の供試材においても取鍋接種のみよりも注湯流接種をすることで高い吸収エネルギーを示した。このことから、注湯流接種は球状黒鉛鋳鉄の組織改善に有効な接種方法であると考えられる。
- 2) 233Kや253KでCaskの規格を満たすような球状黒鉛鋳鉄は基地組織がオールフェライトであること、黒鉛球状化率が出来る限り高いこと、黒鉛粒数が少なくとも $100/\text{mm}^2$ より多くあること、そして基地中のフェライト結晶粒径が $40\mu\text{m}$ 近傍以下であることが必要だと考えられる。

最後に、本研究は球状黒鉛鋳鉄を製造する際に種々の接種剤(レアアース、レアアースレス)を添加することで、低温環境下における球状黒鉛鋳鉄の靱性改善を狙い行われた。それらの実験結果から、接種処理は球状黒鉛鋳鉄の低温脆性を改善する手段として有効である。

#### 文献

- 1) 井川克也, 新山英輔, 他 3名: 材料プロセス工学,(朝倉書店) 第10版,(2007), p.111.
- 2) T.Sekine, K.Shimizu, Y.Takamatu and T.Tazukuri: Proc. of Asian Foundry congress(AFC-11), China, (2011), p.259.
- 3) 井川克也, 新山英輔, 他 3名: 材料プロセス工学,(朝倉書店) 第10版,(2007), p.49.
- 4) R. H. McSwain and C. E. Bates: The Metallurgy of Cast Iron, ed. B. Lux et al., Georgi Publishing Company, Switzerland, (1975), p.421.
- 5) 中江秀雄: 鋳造工学,79(2007), p.451.
- 6) DIN規格: EN-GJS-400-18U-LT 又は JIS規格: G5502 FCD400-18AL
- 7) 塩田俊雄, 小松眞一郎: 材料, 30, (1981), p.390.

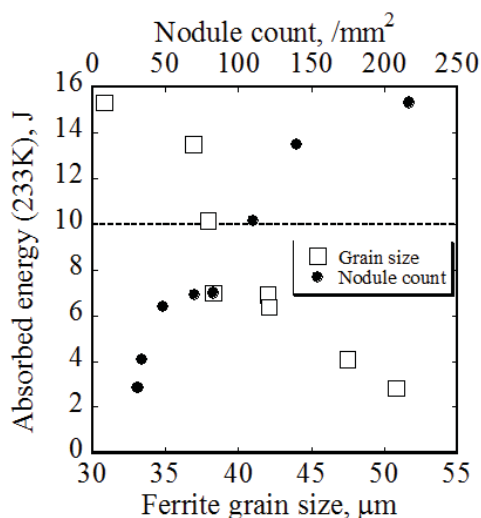


Fig. 5 衝撃吸収エネルギーとフェライト粒径

# 有珠山の噴火予知と地熱エネルギー開発に関する実践的研究：CSAMT 法電磁探査による有珠山深部の地殻構造探査

後藤 芳彦\*1, 城森 明\*2

## 1 はじめに

北海道南西部の有珠山は、1663 年以来、数多くの噴火を繰り返してきた。1977 年の噴火では、軽石や火山灰による甚大な被害が発生し、2000 年の噴火では噴石や泥流被害が発生した。有珠山は 20～30 年間隔で噴火を繰り返す火山であり、噴火予知を行うために、有珠山の地下構造を解明することは重要である。また、有珠山周辺には温泉が多く、有珠山の地熱エネルギー利用を推進するためにも、有珠山の地下構造を探ることは重要である。

本研究では、有珠山の地下構造を探るため、CSAMT 法を用いた電磁探査を行った。CSAMT 法は、火山深部の調査でしばしば用いられる MT 法よりも解像度が高く、詳細な地下構造を知るのに適している。今回の研究では、有珠山東部地域の昭和新山ドームで CSAMT 法探査を行った。昭和新山ドームの地域では、これまでに CSAMT 法探査は行われていない。今回の探査結果は、火山防災と地熱利用の重要な基礎データになると考えられる。

## 2 概要

### 2.1 調査地域の概要

昭和新山ドームは、有珠山東部に位置し、1943-1945 年の噴火で形成された。このドームはデイサイト質マグマの貫入により、大地が隆起して形成されたもので

あり、形成史がスケッチ等により克明に記録された世界でも稀な潜在ドームである。昭和新山ドームは、大きく 2 つの部分からなり、屋根山と呼ばれる扁平な潜在ドームと、屋根山から突き出した溶岩ドーム（溶岩塔）からなる（図 1）。

屋根山はパンケーキ型をなし、南北 800m、東西

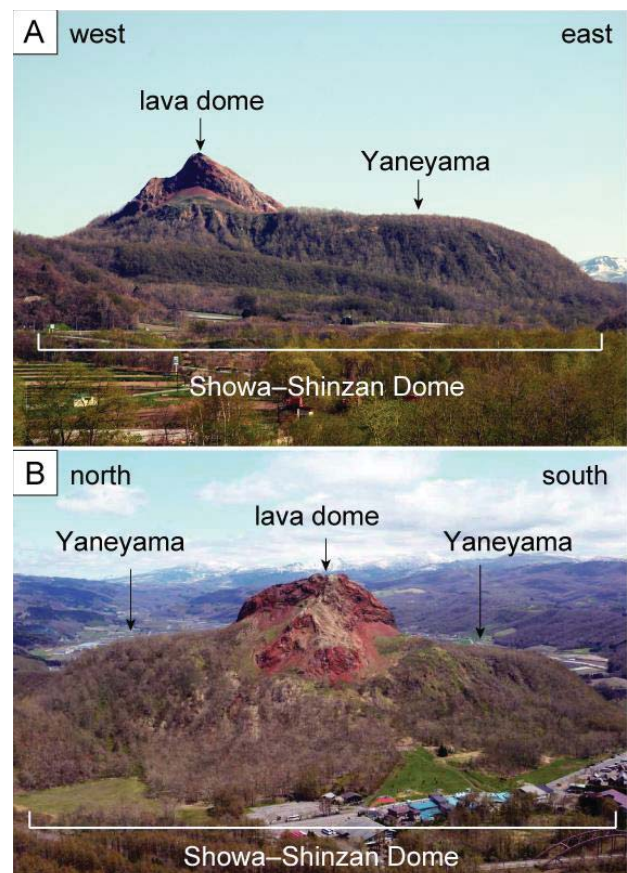


図 1 昭和新山ドーム

\*1：室蘭工業大学 暮らし環境系領域

\*2：有限会社ネオサイエンス

1000m である。周囲の平坦面からの比高は 200m である。屋根山の表面は、有珠外輪山溶岩のブロックで覆われており、高温の噴気地帯はない。屋根山は樹木が繁茂しており、断面が露出するような露頭はない。このため内部構造は明らかにされていない。

溶岩ドームはピラミッド型をなし、直径 300-400m、屋根山からの比高は 150m である。ドームの表面の大部分は、変質した洞爺火砕流堆積物や有珠外輪山溶岩のブロック等で覆われており、内部のデイサイトは部分的に露出するのみである。溶岩ドームには高温の噴気地帯があり、ドームは裸地(植生に覆われておらず、地面が露出する状態)となっている。

昭和新山ドームの形成史は、Minakami et al. (1951), 三松 (1962)により詳しく記録された。それらによると、昭和新山ドームは、1943 年 12 月 28 日の地震により活動が開始した。1944 年 1 月には有珠山東部が隆起し、地割れが発生した。1944 年 6 月 23 日には、水蒸気爆発が起き、その後も水蒸気爆発が繰り返し起きた。1944 年 10 月末までに、隆起は 150m に達し、平坦な山頂部をもつ屋根山が形成された。1944 年 11 月になると、屋根山西部に溶岩ドームが出現し、溶岩ドームの成長と共に屋根山も成長した。溶岩ドームと屋根山の成長は 1945 年 9 月まで続き、成長が止まった。

## 2.2 探査の概要

CSAMT 法探査は、ネオサイエンス社製の高精度探査機 Geo-SEM を使用し、一対の送信源と受信源で行うスカラー法で実施した。送信源は、昭和新山の南方 8.5km に設置した。送信源には、東西方向に伸長した長さ 1.5km のワイヤーを連結し、その両端には 25-35 本の電極を設置した。受信源は、昭和新山ドームを東西に横断する探査線上に設置した(図 2)。この探査線の総延

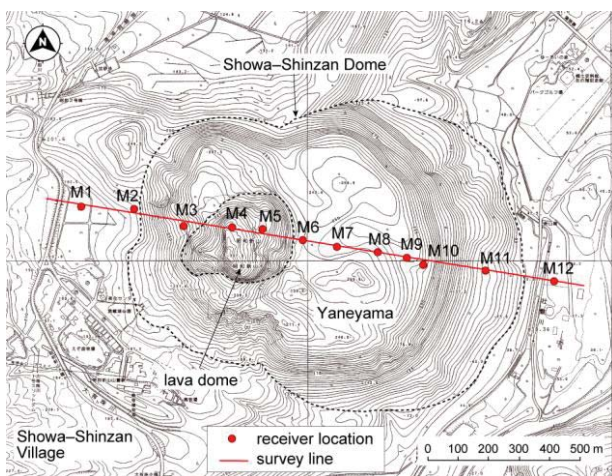


図 2 CSAMT 探査の測線と受信点

長は 1600m で、屋根山と溶岩ドームを横切るように、探査線の上に 12 点の探査地点 (M1-12) を設定した。各探査地点の間隔は 65-225m である。探査地点の M1-2 および M12 は昭和新山ドームの外部、M3 および M6-11 は屋根山、M4-5 は溶岩ドームに設置した。送信源と受信源は、GPS クロックで同期させた。

CSAMT 法探査は、1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192 Hz の周波数、および 20, 40, 80, 160, 320, 640, 1280, 2560, 5120 Hz の周波数を用いて測定を行った。受信源では電場と磁場を測定した。各々の受信源における測定時間は 1 時間である。得られた CSAMT データは、バンドパスフィルター等を用いてノイズを除去し、そのデータから見かけ比抵抗と位相を計算した。今回得られたデータは、ノイズも少なく、良好なデータであった。また、全てのデータはファーフィールドに属し、ニアフィールドの影響は受けていないと考えられる。

CSAMT データの解析は、有限要素法を用いた 2 次元逆解析で行った。2 次元逆解析は、佐々木(1986)の方法に従った。地形補正は、5000 分の 1 スケールの地形図(国土地理院発行の有珠山 III および IV)を用いて行った。メッシュサイズは 20m×20m である。データ解析後、スキンドープスの計算を行った。スキンドープスによる探査深度は 1100m である。

## 3 結果

今回の CSAMT 法探査により、昭和新山の直下約 1000m までの比抵抗構造が明らかになった。この比抵抗構造は A, B, C, D のゾーンで特徴づけられる(図 3)。ゾーン A は非常に高い比抵抗を示し、主に有珠外輪山溶岩のブロックで構成されると考えられる。ゾーン B は高比抵抗で、デイサイト質貫入岩体であると考えられる。ゾーン C は中程度の比抵抗を示し、やや変質した洞爺火砕流堆積物等であると考えられる。ゾーン D は低比抵抗であり、強変質したタフ等で構成されると考えられる。

以上の解析結果より、昭和新山ドームの溶岩ドームの直下には、直径約 400m のほぼ球形のデイサイト質貫入岩体が存在することが明らかになった。このデイサイト質貫入岩体は 1943-1945 年に貫入したマグマが固結したものであると考えられる。屋根山は、デイサイト質貫入岩体により押し上げられた既存の岩石や堆積物(有珠外輪山溶岩や洞爺火砕流堆積物等)からなると考えられる。

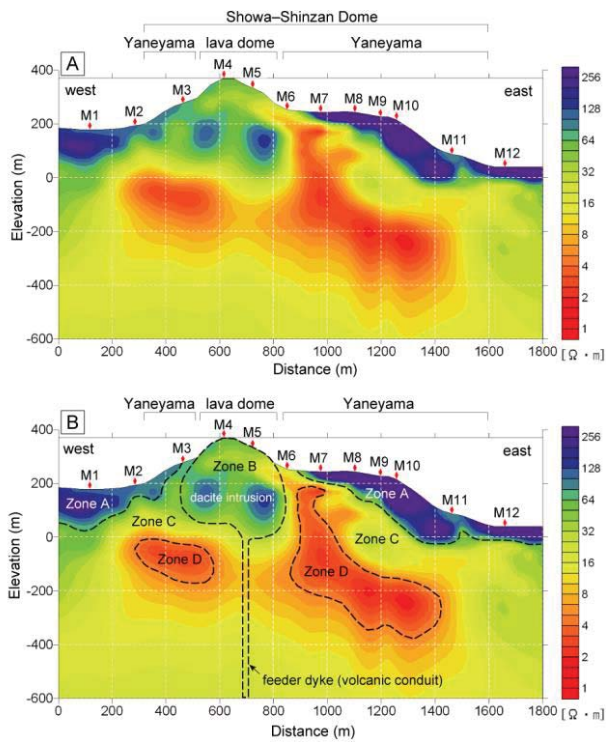


図 3 昭和新山の比抵抗断面図

#### 4 おわりに

昭和新山の地下構造については、これまでに多くの推測がなされてきたが、データが少なく、推測の域を超えないものであった。今回の CSAMT 探査により、昭和新山の地下構造に関する高精度のデータが得られ、昭和新山を形成したマグマの具体的な挙動が明らかになった。このデータは、有珠山の噴火予知や地熱研究の基礎データとして重要で、有珠山の火山防災に貢献すると考えられる。今後は、コンピューターによるシミュレーション等により精度検証を行うと共に、マグマの挙動とドーム成長の様式を明らかにしていく必要性があると考えられる。

# 環境負荷を低減する汎用型高炉セメントの創生 —コンクリートの強度発現性と耐久性の評価—

濱 幸雄\*1, 佐川 孝広\*2, 塚本 康誉\*3

## 1 はじめに

環境負荷低減や産業副産物の有効利用の観点から高炉スラグ微粉末 (BFS) をコンクリート用混和材として利用する高炉セメントの研究が進められている<sup>1)</sup>。高炉セメントは BFS を 40~45%程度混合した B 種が主に土木分野で使用されており、全セメント使用量の 20%程度を推移している。高炉セメント B 種の長所としては、普通ポルトランドセメント (OPC) と比較して低発熱であること、長期強度増大や初期の湿潤養生を十分に行うと優れた耐凍害性を有する<sup>2)</sup>などがある。一方で置換率の増大に伴い中性化抵抗性の低下<sup>3)</sup>、初期の強度発現が遅く強度発現の温度依存性が大きいことなど報告されている。今後も BFS の利用拡大が望まれているが、初期強度発現性や中性化抵抗性の観点から、高炉セメント B 種を OPC と同様に用いることは難しく、現状ではさらなる利用拡大は困難である。

そこで BFS を広く薄く使用するため、BFS 混合率を 5~30%程度とした高炉セメント A 種の研究が行われている<sup>4)7)</sup>。高炉セメント A 種は OPC と同様の用途で用いることができると言われているが、B 種と同様に初期強度や中性化抵抗性が劣ることが指摘されている。既往研究で谷田貝らは、化学成分を調整した高炉セメント A 種相当のコンクリートを用いた場合、水セメント比を 2-3%程度低下させることにより、OPC と同等の中性化速度とすることができることを示している<sup>7)</sup>。

しかしながら寒冷地では、中性化抵抗性のみならず耐凍害性が懸念される。中性化と凍害の複合劣化は、それぞれ単独の場合とは異なり、凍害によるひび割れが中性化を促進させる可能性や、中性化による細孔構造の変化が耐凍害性に影響を及ぼす可能性がある。中性化と凍害の複合劣化については、竹田らによって OPC の場合の結果が報告されているが<sup>8)</sup>、高炉セメントを用いた研究は少なく、より詳細な検討が必要である。

そこで本研究では、高炉セメントにおける BFS 置換率が中性化と凍害の複合劣化に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、実験検討を行なった。

## 2 実験概要

### 2.1 使用材料および試験体条件

表 1 に実験計画とフレッシュ性状を、表 2 に使用材料を示す。結合材として、研究用普通ポルトランドセメント (少量混合成分を含まない普通ポルトランドセメント : OPC) および高炉スラグ微粉末 (BFS) を、少量混合成分として石灰石微粉末 (LSP) と無水石膏 (CS) を、細骨材に白老産陸砂を用い、水結合材比 (W/B) 55%、結合材 : 砂を 1 : 3 としたモルタルを混練し、40×40×160mm の角柱試験体を作製した。試験体種類は、混和材を含まない N、BFS を 15%、45%置換した BA (A 種相当)、BB (B 種相当)、および BA に LSP および CS を添加した BA1、BA2、BA3 の 6 種類とした。LSP と CS の添加率は、既往研究で BFS15%の条件で最も強度発現性に優れた LSP4%、CS2%添加を基準とした<sup>9)</sup>。なお、化学混和剤を使用していないが、フレッシュ性状は、空気量が 4.2±1.0%、フローが 180±10mm の範囲にある。

\*1 : 室蘭工業大学 暮らし環境系領域建築ユニット・教授

\*2 : 前橋工科大学・准教授(元 日鉄住金セメント株式会社)

\*3 : 室蘭工業大学 大学院博士前期課程環境創生工学系専攻

表 1 実験計画

試験体名	W/B (%)	B:S	結合材構成比率(%)				測定項目	フレッシュ性状	
			OPC	BFS	少量混合成分量			空気量 (%)	フロー (mm)
					LSP	CS			
N	55	1:3	100	-	-	-	フレッシュ性状	5.1	176
BA			85	15	-	-	一次共鳴振動数	5.0	177
BB			55	45	-	-	中性化深さ	3.4	189
BA1			79	15	4	2	圧縮強度	4.1	188
BA2			83		-	2	細孔径分布	4.2	181
BA3			81		4	-	全空隙率	4.2	189

表 2 使用材料

2.2 試験項目および方法

試験項目はフレッシュ性状（フロー，空気量），圧縮強度，凍結融解試験，促進中性化試験および空隙構造（全空隙量，水銀圧入法による細孔構造測定）である。

圧縮強度試験は，標準水中養生 4 週で JIS R 5201 に準じて行った。

凍結融解試験は，JIS A 1148A 法（水中凍結水中融解試験）に準じて行い，一次共鳴振動数を測定し動弾性係数を算出した。促進中性化試験は，JIS A 1153（CO<sub>2</sub> 濃度 5%，室温 20℃，相対湿度 60%RH）に準じて行い，中性化促進材齢 13 週までの中性化深さから中性化速度係数を算出した。

空隙構造の測定は，標準水中養生 4 週および凍結融解 60cyc 後の試験体から 5mm 角の立方体試料を切り出し，エタノール置換による水和停止を 1 週間行なった後 D-dry 乾燥を行った試料を用いて，水銀圧入法による細孔構造の測定とアルキメデス法により，全空隙率の測定を行った。

2.3 複合劣化試験

表 3 に複合劣化試験の条件を示す。複合劣化試験は，JIS A 1148A 法による凍結融解作用を 12, 30, 60 サイクル与えた凍害劣化の程度の異なる試験体を用いて促進中性化試験を行うシリーズ 1 と，促進中性化を 7 週間行った後に凍結融解試験を行うシリーズ 2 のふたつの条件とした。なお，比較のために，凍結融解試験および促進中性化試験単独の条件も加えている。

種類	物性
セメント	研究用普通ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm <sup>3</sup> )
細骨材	白老産陸砂(表乾密度 2.66g/cm <sup>3</sup> )
混和材	高炉スラグ微粉末 4000Blaine (密度 2.91g/cm <sup>3</sup> )
	石灰石微粉末(密度 2.73g/cm <sup>3</sup> )
	無水石膏(密度 2.96g/cm <sup>3</sup> )

表 3 促進劣化の条件

		劣化付与条件		
シリーズ 1	凍結融解	なし	➡	促進中性化
		12cyc.		
		30cyc.		
		60cyc.		
シリーズ 2	促進中性化	7w	➡	凍結融解
	気中養生	7w		

3 実験結果および考察

3.1 基礎性状

図 1 に圧縮強度試験結果を示す。N,BA,BB と BFS 置換率の増加とともに圧縮強度は低下している。また，少量混合成分として LSP と CS を添加した場合には，

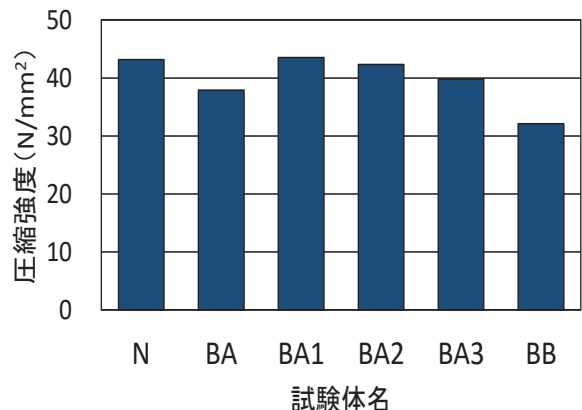


図 1 圧縮強度



既往研究<sup>9)</sup>と同様に、Nと同程度まで圧縮強度が改善している。

図2に中性化単独の場合の結合材種類による中性化速度係数を比較して示す。BFS置換率が増加するほど中性化速度係数が大きくなっている。また、図3に直径0.05-10 $\mu$ mの毛細管空隙量と中性化速度係数の関係を示す。一般に、高炉セメントの中性化抵抗性が劣る理由として、BFSの反応速度が遅く、BFS置換率が高くなると中性化試験を開始する材齢では水和組織の緻

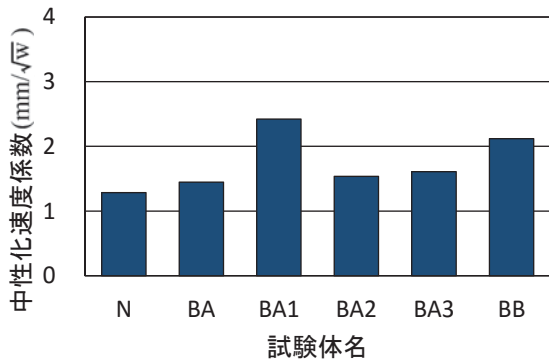


図2 中性化速度係数

密化が十分に進行していないことや、直径0.05-0.1 $\mu$ m以上の毛細管空隙量が多いほど中性化が進行しやすい<sup>10)</sup>ことが指摘されているが、図3ではBFS置換率の増加にともない0.05-10 $\mu$ m以上の毛細管空隙は減少しており、上記の指摘とは対応しておらず、中性化速度係数の差を細孔構造の緻密化の差では説明できない。また、アルカリ源としてのOPC量の低下とBFSの潜在

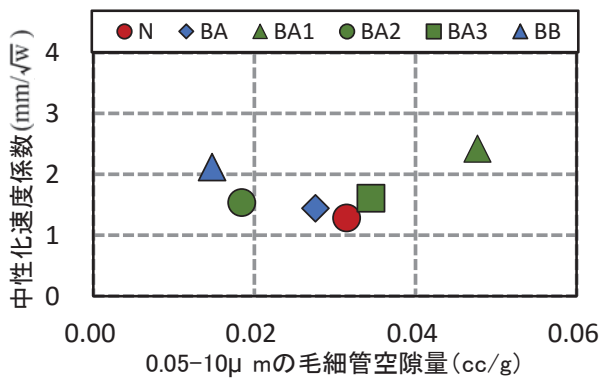


図3 直径0.05-10 $\mu$ m毛細管空隙量と中性化速度係数の関係

水硬性の進行によってもCH量が減少することやBFS置換率が増加した場合の生成されるC-S-HのCa/Si比が低くなることも、BFS置換率の増加にともなう中性化速度の増加の一因と考えられる。

さらに、高炉A種相当の条件では、最も圧縮強度の高いBA1が最も中性化速度係数が高くなっているが、これはLSPとCSの添加によりBFSの反応が促進され、CHの消費とBFSの自己中性化が生じたためと考えられる。

図4に凍結融解単独の場合の耐久性指数を比較して示す。全ての試験体で耐久性指数60%を下回る結果となった。また、BFS置換率が増加するほど耐久性指数も低下している。また、少量混合成分の混入条件により耐久性指数に大きな差が見られ、CSのみを混入したBA2がLSPを混入したBA1、BA3よりも耐久性指数は高く、Nと同程度の値を示している

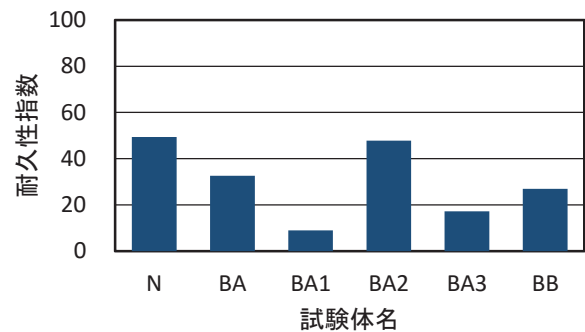


図4 耐久性指数

図5に空気量と耐久性指数の関係を示す。本研究では、化学混和剤を用いておらず、空気量は $4.2 \pm 1.0\%$  (コンクリート換算で2.5%程度のnon-AE)の条件であるが、空気量が多いほど耐久性指数が高くなる傾向が見られる。しかしながら、少量混合成分の混入条件の異なるBA1、BA2、BA3は空気量がほぼ同じであるにもかかわらず、耐久性指数に差が見られた。コンクリートの耐凍害性は細孔構造の影響が大きいことは良く知られており、直径40-2000nmの細孔量が増加すると耐凍害性が低下するといわれている<sup>11)</sup>。そこで、上記の高炉A種相当で少量混合成分の混入条件の異なるBA1、BA2、BA3およびBAの直径40-2000nmの細

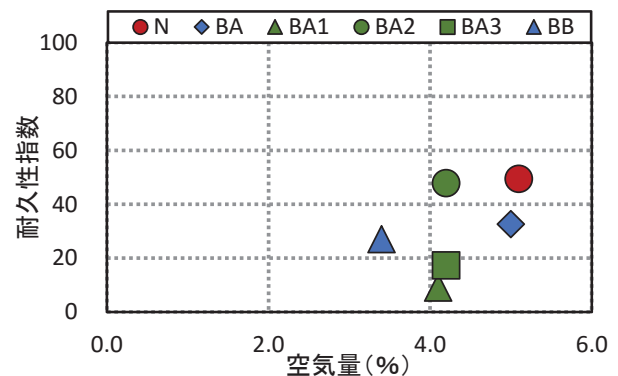


図5 空気量と耐久性指数の関係

孔量と耐久性指数の関係を図 6 に、累積細孔量を図 7 に比較して示す。この場合においても、直径 40-2000nm の細孔量が増加するほど耐久性指数が低下しており、耐久性指数の低い BA1, BA3 は累積細孔量の立ち上がりも小径側にシフトしつつ、総細孔量が増大しており、細孔構造の粗大化が耐凍害性低下の一因であると考えられる。

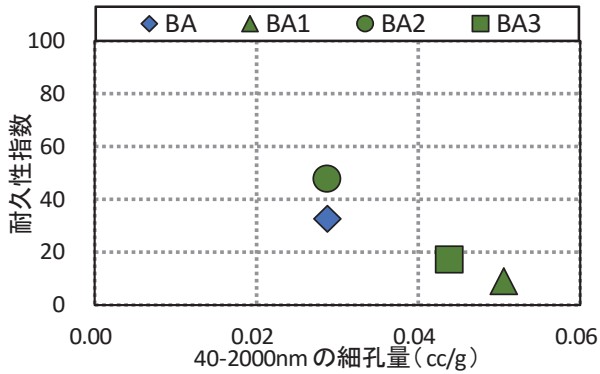


図 6 直径 40-2000nm の細孔量と耐久性指数の関係

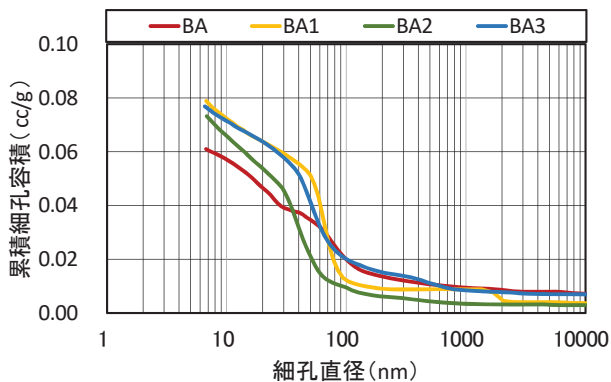


図 7 累積細孔容積

### 3.2 凍害劣化程度が中性化抵抗性に及ぼす影響

図 8 に凍害劣化の有無による中性化速度係数の変化を示す。N, BB を除いて凍害劣化を受けることで中性

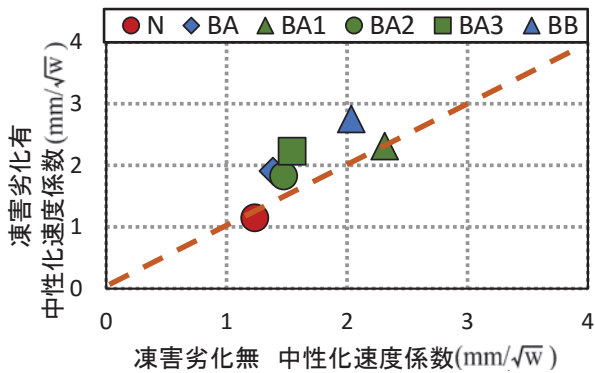


図 8 凍害劣化の有無による中性化速度係数の変化

化速度係数は大きくなる傾向を示している。図 9 に相対動弾性係数と中性化速度係数の関係を示す。OPC を対象とした既往の研究では、凍結融解作用による劣化が進行すると、内部に微小なひび割れが発生するため中性化進行が早くなる場合があるが、同時に相対動弾性係数が 80%以上では凍結融解繰り返しによる劣化が中性化の進行に及ぼす影響は小さい<sup>8)</sup> という報告がある。本実験においても、凍結融解による劣化程度が BA3 を除いて相対動弾性係数 75~90%程度であり、中性化速度係数に大きな変化は認められず、相対動弾性係数が 50%以下まで劣化した BA3 においても同様である。

凍結融解による全空隙量の変化について、凍結融解回数 0 と 60 サイクル時の全空隙量を図 10 に、インクボトル細孔量を図 11 に示す。全ての試験体において凍結融解作用による全空隙量の変化は顕著ではない。しかしながら、凍結融解によって中性化速度係数が増加した N, BB 以外の試験体で凍結融解後にインクボトル

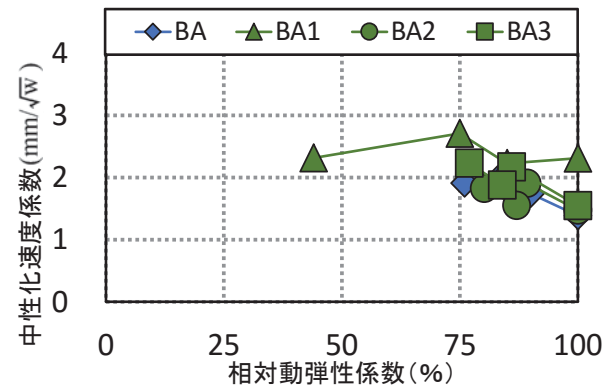
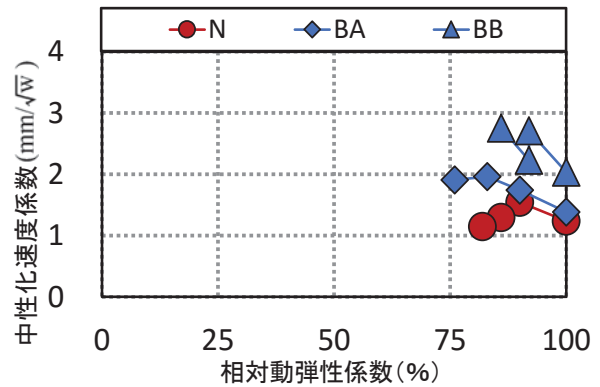


図 9 相対動弾性係数と中性化速度係数の関係

細孔量が減少する傾向を示している。凍結融解作用中にインクボトル細孔に浸入、蓄積された水は、促進中性化環境においても乾燥しにくく、二酸化炭素の進入を阻害すると考えられる。N, BB 以外の試験体は、凍結融解作用によってインクボトル細孔量が減少したため、わずかではあるが中性化速度係数が増加したと考

えられる。

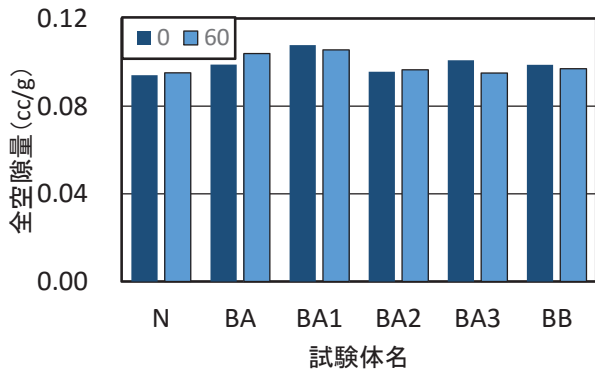


図 10 凍害融解作用による全空隙量の変化

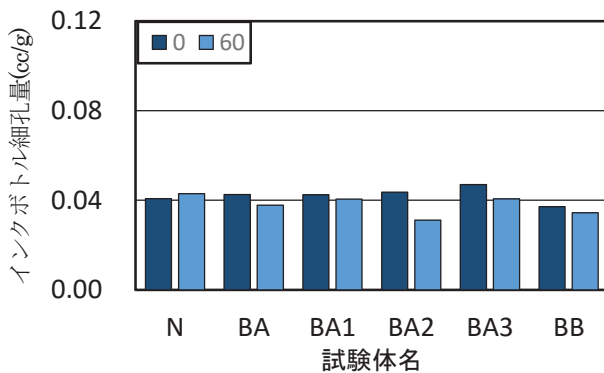


図 11 凍結融解作用によるインクボトル細孔量の変化

### 3.3 中性化の有無による耐凍害性への影響

中性化の有無による耐久性指数の変化を図 12 に、凍結融解による質量変化を図 13 に示す。中性化による耐久性指数の変化には一定の傾向を認めることができなかった。一方、質量変化率は中性化によって減少する傾向が認められた。

一般に、中性化により細孔構造は緻密化するといわれており、細孔構造の緻密化は耐凍害性の向上に寄与

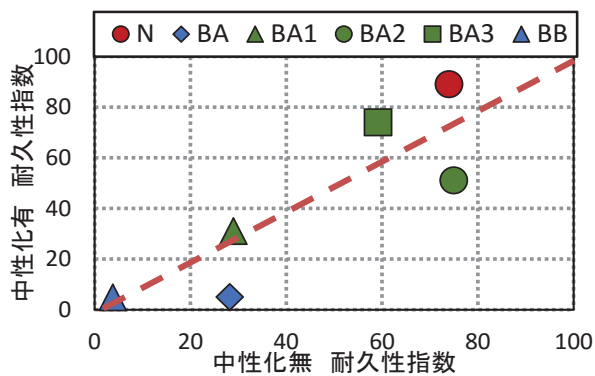


図 12 中性化の有無による耐久性指数

すると考えられる。そこで、耐凍害性に影響の大きいといわれている直径 40-2000nm の細孔量と耐久性指数の関係を中性化の有無で比較して図 14 に示す。全ての試験体で中性化によって直径 40-2000nm の細孔量は減少しており、中性化による細孔構造の緻密化が確認できた。N, BA3 のように中性化によって耐久性指数が向上し、質量減少率が低下する場合には、中性化による細孔構造の緻密化でその理由を説明できるが、BA, BA2, BA3 のように耐凍害性に影響する直径 40-2000nm の細孔量が減少しているにもかかわらず耐久性指数が

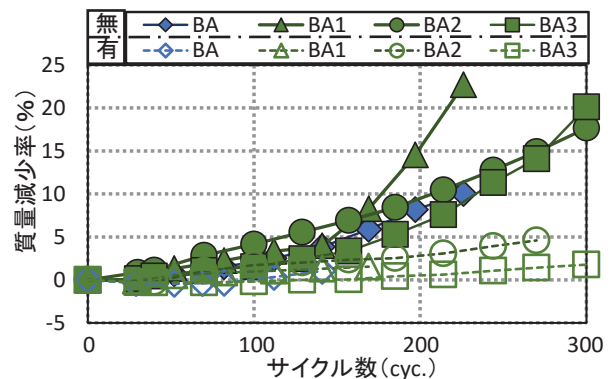
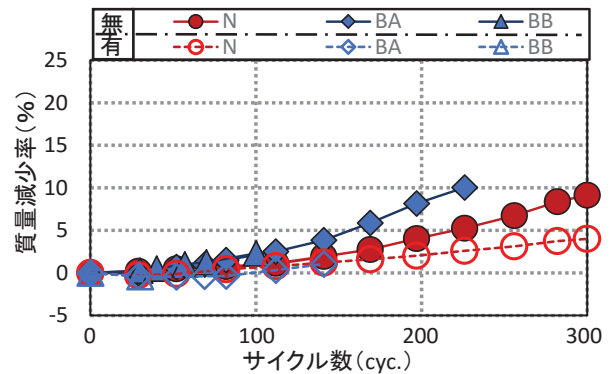


図 13 凍結融解による質量減少率

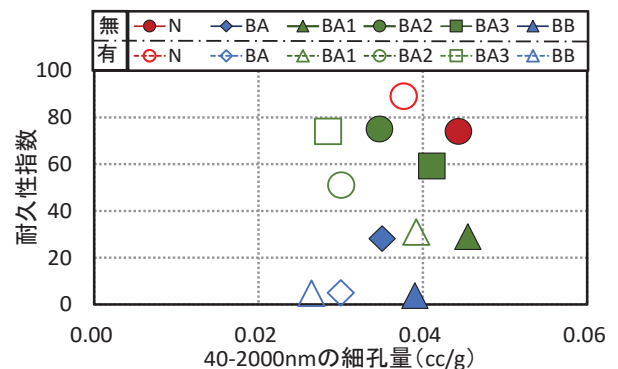


図 14 直径 40-2000nm の細孔量と耐久性指数の関係

低下している理由については現段階では説明することができない。

#### 4 まとめ

本研究では、環境負荷低減を目指して BFS 置換率と少量混合成分の混入条件を変化させた高炉セメントの強度増進性状と耐久性について検討した。得られた知見を以下に示す。

- 1) BFS 置換率が多くなるほど圧縮強度、中性化抵抗し、耐凍害性は低下するが、少量混合成分の適切な添加により改善できる可能性がある。
- 2) 凍害劣化は中性化抵抗性を低下させるが、その影響程度はそれほど大きくない。また、凍結融解作用によるインクボトル細孔量の減少が、中性化抵抗性低下に影響している。
- 3) 中性化によって耐凍害性に影響する直径 40-2000nm の細孔量は減少し細孔構造の緻密化するが、中性化による耐久性指数の変化には一定の関係が認められなかったが、中性化により質量減少率が低下する傾向は確認できた。

#### 文 献

- 1) 鐵鋼スラグ協会:鉄鋼スラグの高炉セメントへの利用, 平成 25 年度
- 2) 近松竜一ほか: 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの耐凍害性, コンクリート工学年次論文報告集, 11-1, pp.355-360, 1989
- 3) 松家武樹ほか: フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を用いたローカーボンコンクリートに関する基礎的研究, Cement Science and Concrete Technology, No.64, pp.295-302, 2010
- 4) 伊代田岳史ほか: 耐久性向上と環境負荷低減を目的とした高炉セメント A 種への少量混合材の適用検討, コンクリート工学論文集, 第 25 巻, pp125-134, 2014
- 5) 百瀬晴基, 関田徹志, 石関浩輔, 今本啓一, 清原千鶴: 低収縮高炉セメントコンクリートに関する研究, 鹿島技術研究年報, 第 62 号, 2014.9
- 6) 谷田貝敦ほか: 化学成分を調整した高炉セメント A 種のコンクリートの性質, JCI 混和材を積極的に使用するコンクリートに関するシンポジウム, pp.63-68, 2011
- 7) 谷田貝敦ほか: 鉱物組成を調整したクリンカーを用いた高炉セメント A 種の特性, セメント・コンクリート論文集, No.66, 2013
- 8) 竹田宣典ほか: 凍結融解と中性化の複合劣化作用を受けるコンクリートの耐久性に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, 24-1, 735-740, 2002
- 9) 塚本康誉ほか: 高炉セメント A 種の材料設計と強度発現, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), pp347-348, 2014.9
- 10) 橋田浩: 細孔空隙構造からのコンクリートの各種特性の

形成機構に関する検討,清水建設研究報告, 第 63 号, pp1-10, 平成 8 年

- 11) 鎌田英治: コンクリートの凍害と細孔構造, コンクリート工学年次論文報告集, 10-1, 51-60, 1988 福山智子: 2013 年度日本建築学会大会(北海道)の概要報告, 建築雑誌, Vol.129, No.1654, p.43 (2014)

# 積雪寒冷地域における道路構造物の高度化・長寿命化 に関する研究

川瀬 良司\*1, 小室 雅人\*2, 岸 徳光\*3, 栗橋 祐介\*2

## 1 はじめに

我が国では、高度経済成長期に数多くの橋梁が建設されており、今後耐用年数を超過した橋梁が増大する。このような橋梁を安全に供するためには、劣化診断技術や合理的な補強・補修法の確立が非常に重要となる。近年、橋梁の維持管理や劣化度診断を行う一つの手法として、橋梁の固有振動特性の経年変化に着目した評価法が検討されている。この手法は、定期的に固有振動特性や減衰定数を測定し、それらのデータを蓄積することによって、橋梁の経年劣化の程度や地震等の自然災害発生時における損傷の有無を適切に評価しようとするものである。

このような背景のもと、著者らはこれまで北海道内における多くの橋梁（例えば、石狩河口橋<sup>1)</sup>、新石狩大橋<sup>2)</sup>や旭橋<sup>3)</sup>等）を対象に、その固有振動特性を評価するための常時微動観測や強制加振実験を実施した。さらに、建設当時の設計図書を基に詳細な有限要素モデルを構築し、固有振動解析を実施するとともに、両者を比較することによって、その健全性の評価を行ってきた。

本研究では、これらの研究成果を踏まえ、音更町と幕別町が管理する三径間連続鋼斜張橋である十勝中央大橋を対象に、今後の維持管理を念頭に現時点における固有振動特性の評価を目的として振動実験を実施した。また、供用開始直前に実施された振動実験結果<sup>4), 5)</sup>との比較により、現時点における同橋梁の健全性に関する検討を試みた。

## 2 橋梁概要

本研究で対象とした橋梁は、北海道の東部にある十勝川を横断する十勝中央大橋（橋長 772.5 m）であり、農林水産省所管の道営広域営農団地農道事業によって昭和 63 年に竣工され、現在は音更町と幕別町がその管理を行っている。同橋梁は、主径間部が三径間連続斜張橋、側径間部が三径間（右岸）および二径間連続非合成箱桁橋（左岸）から構成される。

図 1 には対象橋梁の主径間部（斜張橋部）における一般図を示している。本橋梁は、主桁に無塗装耐候性鋼材を使用した箱桁を、主塔に鉄筋コンクリートを、ケーブルに PC 鋼線を用いた複合斜張橋である。表 1 には、振動実験を実施した主径間部の橋梁諸元を示している。写真 1 には橋梁の全景および桁下部を示している。なお、本橋梁は、これまでに舗装、伸縮装置および支承アンカーボルトの補修等が実施され、現在に至っている。

表 1 十勝中央大橋（主径間部）の橋梁諸元

型式	三径間連続斜張橋
支間	450 m (100+250+100 m)
桁長	451.2 m
主塔の高さ	52 m
全幅	12.3 m (0.4×2+1.5+7.5+0.5+2.0 m)
竣工	昭和 63 年 (1988 年)

\*1: 株式会社 構研エンジニアリング

\*2: 室蘭工業大学 暮らし環境系領域

\*3: 釧路工業高等専門学校

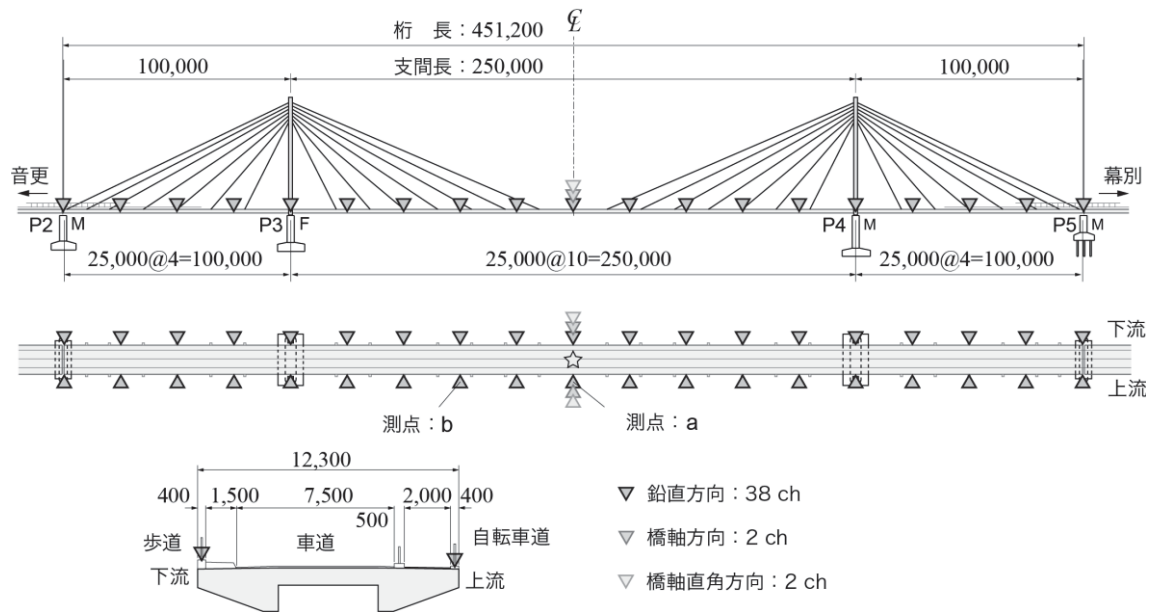


図 1 一般図および振動計配置図



(a) 全景



(b) 桁下部

写真 1 十勝中央大橋

### 3 振動実験の概要

#### 3.1 振動計の配置

本実験では、橋梁全体系の振動特性を可能な限り精度よく把握するために、図 1 に示すようにサーボ型振動計を用いて計測を行った。具体的には、曲げおよびねじり振動モードを特定するために上・下流側の地覆部に計 38 点（感度方向：鉛直方向）、橋軸方向および橋軸直角方向の振動特性を確認するために、P3-P4 径間中央に計 4 点（感度方向：橋軸方向および橋軸直角方向）に振動計を設置した。

#### 3.2 計測システム

図 2 には、本計測システムの概要を示している。

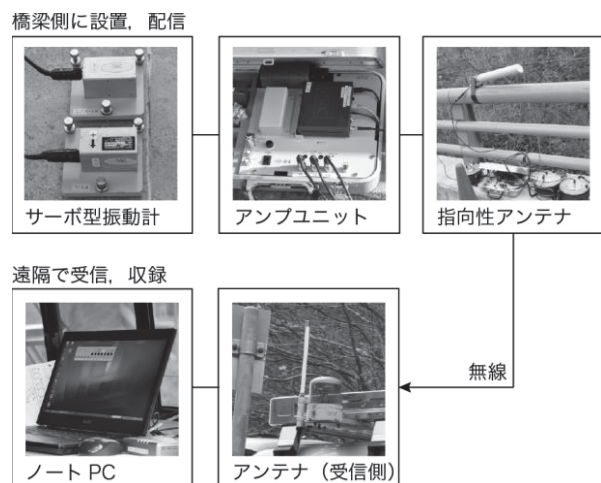


図 2 計測システム

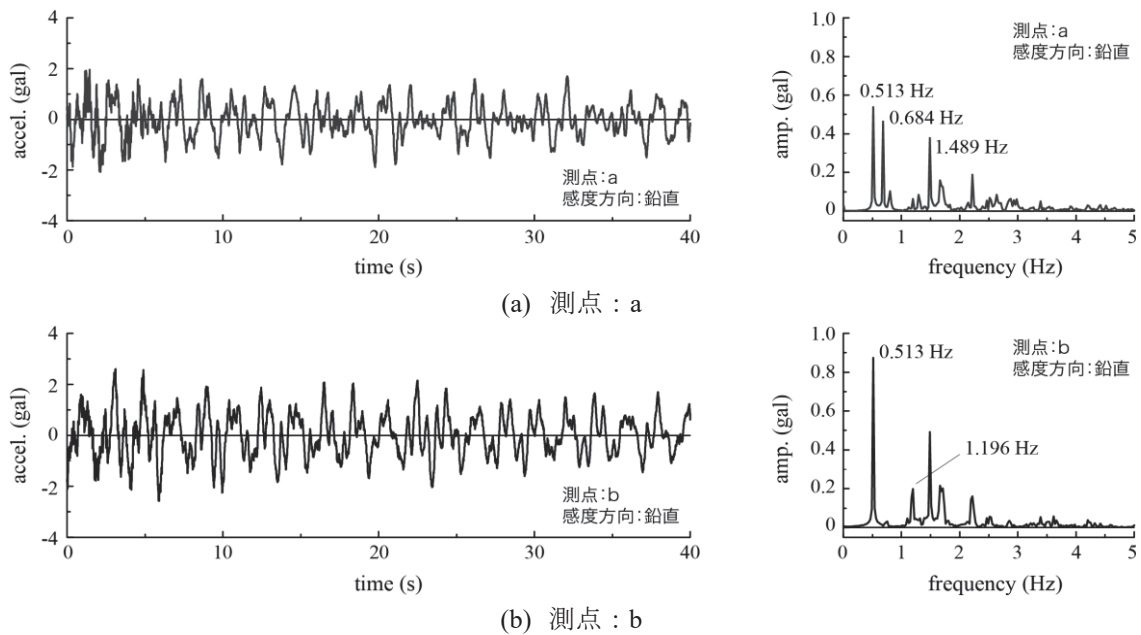


図 3 実験から得られた加速度波形および振幅スペクトルの一例



写真 2 大型車両通行状況

全てのサーボ型振動計からの加速度出力は、専用のアンプユニットを介して送信用の指向性アンテナから受信アンテナに無線によって送信され、収録用 PC にて一括収録している。計測のサンプリングタイムは 5 ms である。

### 3.3 実験方法

本実験では、常時微動および大型車両通行後の自由振動状態における加速度データを収録することとした。すなわち、大型車両通過後に速やかに交通規制を行い、他の車両の通行を排除することによって自由振動状態を確保した(写真 2 参照)。また、実験は片側交互通行で実施し、大型車両を上流側あるいは下流側に走行させることにより複数回実施している。

### 3.4 振動数の決定方法

実測加速度波形を用いた固有振動モードおよび固有振動数の決定方法は、以下の仮定に基づいて実施した。すなわち、

- 1) 常時微動状態、および大型車両通過後の自由振動状態における全加速度波形を収録する。
- 2) 全測点の収録波形に関する 40.96 秒間について FFT 処理を施し、フーリエスペクトルを求める。
- 3) 主要な測点において計測された応答波形のフーリエスペクトルから固有振動数と考えられる卓越振動数を抽出する。
- 4) 固有振動モードを求めるために、3) で求めた各測点における卓越振動数近傍のフーリエスペクトル、位相スペクトル分布を用いて波形を生成する。
- 5) 4) で求められた各測点の加速度波形について、振幅の大きい測点の波形を基準にして 1/8 周期毎に橋軸方向全測点における振幅値を用いて振動モードを求め、モードの節および腹の位置が各周期で移動せず、振動モードが連成していないことを確認し、固有振動モードを決定する。

## 4 実験結果および考察

### 4.1 計測加速度波形とフーリエスペクトル

図 3 には、実験結果の一例として、大型車両通行後に測点 a, b で計測された 40 秒間の加速度波形と、

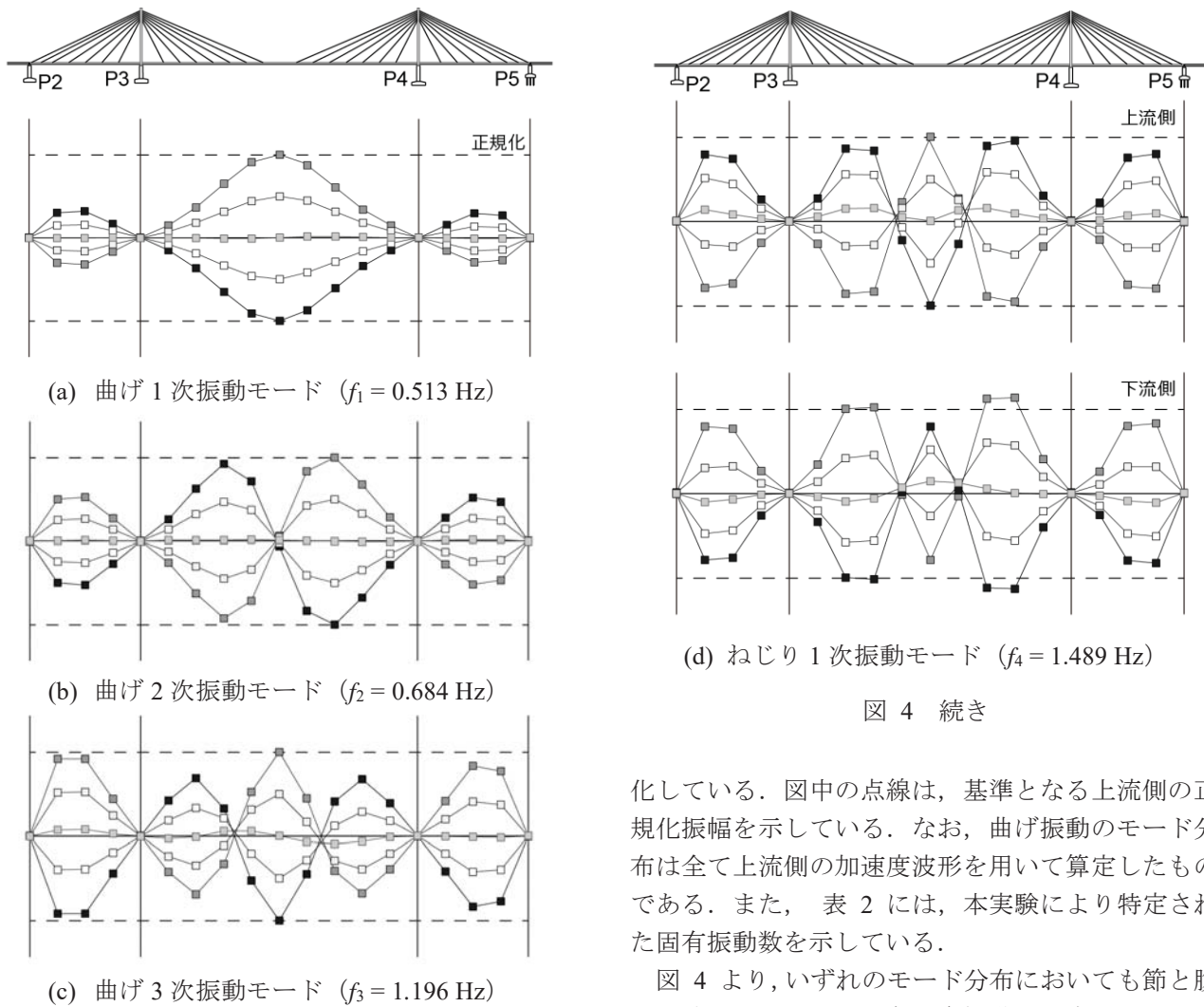


図 4 振動モード分布

その加速度波形から得られたスペクトル分布を示している。なお、スペクトル解析には 8,192 個のデータ (40.96 秒間) を使用した。

図より、いずれの測点においても最大 3 gal 程度の加速度振幅が得られていることが確認される。また、加速度波形から得られたフーリエスペクトルには、複数の卓越振動数が存在することが分かる。なお、測点によって得られる卓越振動数が異なる。これは、振動モードによって着目する測点部が節となるような場合にはスペクトル値が小さくなるため、卓越振動数が明確に現れないことを意味している。これらの卓越振動数を基に、前述の方法によって固有振動モードの特定を行った。

#### 4.2 振動モード分布

図 4 には、図 3 に示した加速度スペクトルを基に特定された振動モードを示している。全ての振動モードは上流側の最大振幅が 1 となるように正規

図 4 続き

化している。図中の点線は、基準となる上流側の正規化振幅を示している。なお、曲げ振動のモード分布は全て上流側の加速度波形を用いて算定したものである。また、表 2 には、本実験により特定された固有振動数を示している。

図 4 より、いずれのモード分布においても節と腹が明確に現れており、各固有振動に対応するものであることが分かる。また、各固有振動モードに着目すると、最低次固有振動モードである曲げ 1 次 (a 図) と曲げ 2 次の振動モード (b 図) に関しては、中央径間および側径間の振幅がそれぞれ対称のモード分布を呈している。一方で、高次の固有振動モードである曲げ 3 次振動モード (c 図) の場合には、側径間において必ずしも対称性を満足していないことが分かる。また、(d) 図に示すねじり 1 次振動モードにおいても、上下流側で振幅が若干異なっている。しかしながら、全体的には概ね左右対称の振動モード分布を呈しており、良好な結果が得られているものと判断される。

#### 4.3 既往の実験結果 (竣工時) との比較

表 2 には、常時微動および車両走行後の自由振動状態より特定された固有振動数を、供用開始直前に実施された実験結果と比較して示している。なお、既往の実験結果において曲げ 3 次振動モードの固有振動数は確認されていない。表より、低次振動モードである曲げ 1 次および曲げ 2 次振動モードの固有



表 2 固有振動数の比較

固有振動モード	本実験結果		既往の実験結果	
	常時微動	車両走行後	文献 3)* <sup>1</sup>	文献 4)* <sup>2</sup>
曲げ 1 次振動	0.513 Hz	0.513 Hz	0.510 Hz	0.513 Hz
曲げ 2 次振動	0.684 Hz	0.684 Hz	- Hz	0.688 Hz
曲げ 3 次振動	1.196 Hz	1.172 Hz	- Hz	- Hz
ねじり 1 次振動	1.489 Hz	1.489 Hz	1.587 Hz	1.763 Hz

\*1 固有振動周期から逆算, \*2 常時微動から特定

振動数は、いずれの場合もほぼ等しい値を示していることが分かる。

一方、ねじり 1 次振動モードにおいては、本実験結果と既往の実験結果に若干の差異が確認される。しかしながら、既往の振動実験において、文献 3) では振動計が 1 点、文献 4) では 8 点（上流側 2 点、下流側 6 点）と、本実験と比較して格段に少ない振動計で固有振動数を特定していることに留意すべきである。

なお、本実験結果の常時微動観測と車両走行後の固有振動数を比較すると、曲げ 3 次振動において若干の差異が確認されるものの、その他の固有振動数は一致している。これより、本橋梁の固有振動特性は、常時微動観測結果のみで十分把握できることが明らかになった。

以上より、本実験で得られた低次モードの固有振動数が既往の実験結果と一致していることから、本橋梁は全体系としての著しい損傷はなく、建設当時とほぼ同程度の健全性を保持しているものと判断される。

## 5 まとめ

本研究では、供用開始後約 25 年が経過した十勝中央大橋を対象に、健全性確認の観点から固有振動特性の把握を目的に振動実験を実施した。また、既往の実験結果と比較することにより、健全性に関する検討も行った。本研究の範囲内で得られた結果を整理すると、以下の通りである。

- 1) 車両走行後の振動計測により、低次の固有振動数および振動モード分布を特定した。
- 2) 常時微動観測と車両走行後の自由振動状態から特定した固有振動数は一致する。
- 3) 本結果と竣工当時の実験結果を比較すると、曲げ 1 次および曲げ 2 次振動の固有振動数はほぼ一致する。

- 4) 以上より、本橋は全体系としての著しい損傷はなく、建設当時とほぼ同程度の健全性を保持しているものと判断される。

今後は、設計図書に基づいた詳細な有限要素モデルを構築するとともに、固有振動解析を実施し、実験結果の妥当性を検討する予定である。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、音更町には貴重な実験フィールドのご提供を頂いた。特に、同町の大野洋紀氏、吉田博一氏には全面的なご協力を賜った。また、振動実験の実施にあたっては、室蘭工業大学構造力学研究室の学生諸君に多大なるご協力を頂いた。実験データの整理に関しては、同研究室の成田彩華君（現清水建設(株)）、佐藤優君（現中央コンサルタンツ(株)）にご助力を頂いた。ここに深く感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 新山 惇, 佐藤昌志, 小室雅人, 岸 徳光: 供用後 27 年経過した三径間連続鋼床版斜張橋の自由振動特性, 構造工学論文集, 47A, 1093-1102, 2001.
- 2) 西 弘明, 小室雅人, 岸 徳光: 既設バランスド・ラングー橋の固有振動特性評価, 鋼構造年次論文報告集, 14, 121-128, 2006.
- 3) 西 弘明, 佐藤 京, 小室雅人, 岸 徳光: 供用後 73 年経過した旭橋の固有振動特性評価に関する一考察, 鋼構造年次論文報告集, 15, 269-276, 2007.
- 4) 東山久雄, 桑原 孝, 竹居田博成: 十勝中央大橋の実橋振動測定, 土木学会北海道支部論文報告集, 45, 203-208, 1989.
- 5) 十勝中央大橋工事報告書, 農業土木新聞社, 1989.

# 無人航空機搭載用可変指向アンテナの研究

上羽 正純\*1, 北沢 祥一\*2

## 1 まえがき

近年、無人航空機は民生用では農地のリモートセンシング用、あるいは災害地の状況観測やインフラ設備の点検に用いるなどの活用が始まっている。

このような無人航空機は、手動操縦でかつ操縦者の見える 2~300m 距離のみを飛行させるラジコン機ベースのものから、用途によっては 1 km を超え、10km, 100km を超える距離を飛行させることも想定される。このように長距離を飛行する、無人航空機には誘導制御系が搭載され自律飛行することが必然であり、かつ、その飛行状態を地上に送る、あるいは必要に応じて地上から無人航空機にコマンドを送出するテレメトリ・コマンド用の無線通信装置を搭載する必要がある。

一方無人航空機は軽量化のため、胴体部分には主に炭素繊維強化プラスチック (CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastic) を用いられることが多く、さらに高速で飛行する場合には空力特性に影響を与えないよう、機体からの突起を出来るだけ少なくすることが求められている。従って、アンテナは低背であることと、導電性の CFRP によるアンテナの放射特性への影響を考慮する必要がある。またテレメトリに関しては、機体の姿勢が変わってもテレメトリの回線が切れないことが求められている。

これらの要求に応えるアンテナとして、機体の円周方向に 3 つのスロットアンテナを備え、地上に指向しているスロットアンテナのみを使用する構造で全周方向がカバーできるが、機体が導電性材料である場合は、放射パターンに大きなリップルが生じることを報告した [1]。本報告では、アンテナの設置場所を胴体中央部から機首に変え、新たにモノポールアンテナとスロ

ットアンテナの特性解析を行い、スロットアンテナを試作し、その放射パターンの評価を行った結果を述べる。

## 2 高速無人航空機の概要とテレメトリ

ここでは高速無人航空機として航空宇宙機システム研究センターで開発中の、第二世代 小型超音速飛行実験機を例として検討を進める。図 1 に、諸元を表 1 に示す。この実験機は全長 5.8m, 胴体部の直径 30cm, 主翼は翼幅 2.4m, 面積 2.15m<sup>2</sup>, 目標飛行マッハ数は、2.0 である。飛行実験は北海道の大樹町や白老町の滑走路から離陸し、第 1 段階では最大 10km 遠方までの飛行を、最終的には最大 100km 遠方の海上まで最大高度 11km 程度で飛行する。

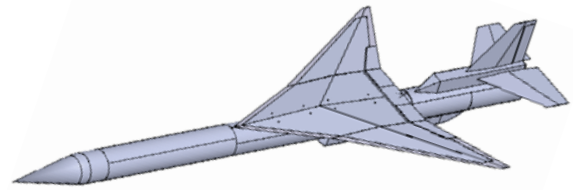


図 1 高速無人航空機の例

表 1 高速無人航空機の緒元

全長	5.8m	
胴体部 直径	0.3m	
主翼	翼幅	2.4m
	面積	2.15m <sup>2</sup>
目標飛行マッハ数	2.0	

機体はアルミフレームを用い、軽量化のため胴体表面は、CFRP を使用する。胴体部分には、胴体後端に搭載しているジェットエンジン 1 基用の燃料タンクが搭載されており、先端のコーン部分には制御系の機器

\*1 室蘭工業大学 もの創造系領域

\*2 (株)国際電気通信基礎技術研究所

や無線部を搭載する。

次に、実験機に搭載する無線システムについて説明する。図 2 に示すように、地上から実験機にコマンドを送るコマンド系は 400MHz 帯を用い、実験機の飛行状態等を知らせるテレメトリ系は 1.2GHz 帯を用いる。このテレメトリ系の諸元は表 2 に示すようになっており、出力 30dBm、ビットレート 138.24kbps、実験機搭載のアンテナは 2.1dBi の直線偏波、地上の受信アンテナは 16dBi で円偏波にし、機体の姿勢が変化しても受信レベルが大きく下がらないようにしている。

小型無人超音速実験機

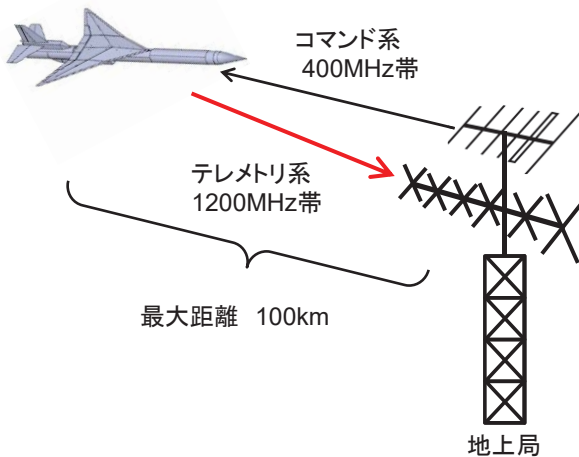


図 2 コマンド・テレメトリ系のイメージ

表 2 テレメトリの諸元

周波数	1.2815GHz
送信電力	30dBm
伝送速度	138.24kbps
変調方式	FSK
通信距離	最大 100km
アンテナ	実験機: 2.1dBi (直線偏波) 地上側: 16dBi (円偏波)

上記の条件で RF 系でのスイッチや同軸ケーブルの損失を 2.1dB、受信機の NF は 2dB、受信帯域幅 6MHz とししてリンクバジェットを計算した。表 3 の計算結果に示すように、距離 10km では回線のマージンが十分にあるが、100km では回線のマージンが 6.5dB となっている。ただし FEC による符号化利得を 5dB 見込んでおり、100km でも 10dB 程度のマージンが確保できる見込みである。

表 3 リンクバジェット

距離	10km	100km
自由空間伝搬損失 [dB]	114.6	134.6
受信機入力電力 [dBm]	-68.6	-88.6
受信雑音電力 [dBm]	-104.0	
S/N 比 [dB]	40.2	15.5
マージン [dB]	31.2	6.5

### 3 テレメトリ用アンテナ

実験機は超音速での飛行を計画しているため、空力特性に影響を与えないよう機体には突起物が無いことが要求されており、アンテナにも同様なことが要求されている。本章では、実験機に装着したアンテナの放射特性を確認のため、まずモノポールアンテナの検討を行った。さらに空力特性を考慮して、低背なアンテナとして選択したスロットアンテナでの検討結果を述べる。

#### 3.1 モノポールアンテナ

機体に装着したアンテナの基本的な放射性能を確認のため、1/4 波長のモノポールアンテナの性能を電磁界シミュレータで確認した。シミュレーションは、解析のメモリ制限もあり、図 1 に示した実験機の翼より前方の胴体の部分のみで行い、機体は CFRP の使用を想定して導電率を 51,000S/m としして計算している<sup>4</sup>。図 3 は解析した形状で、モノポールアンテナは先端のコーン部分に近い機首部分に設けている。

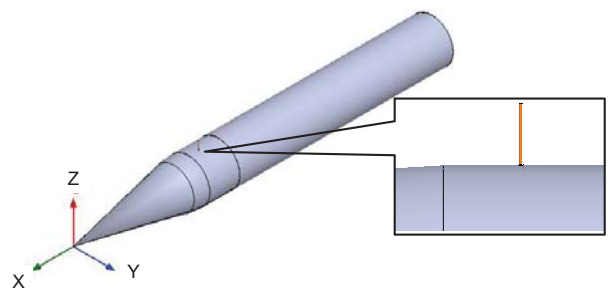
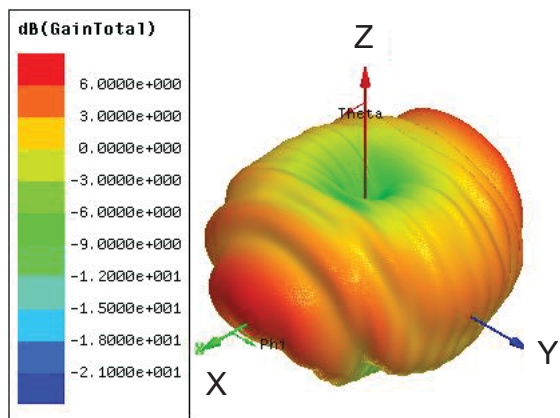
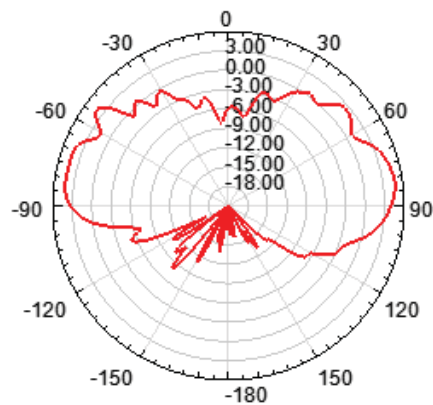


図 3 モノポールアンテナの解析形状

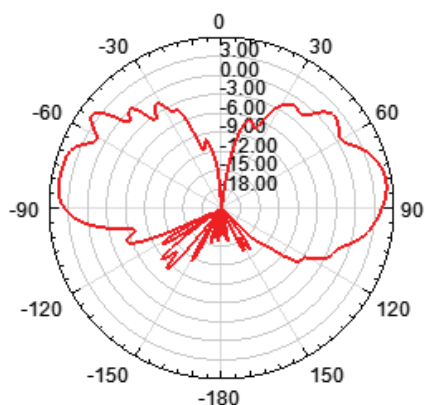
解析結果を図 4 に示す。図 4 (a) は 3 次元の放射パターンを示しており、X 軸方向が機首になる。また図 4 (b) は、ZX 面での放射パターンを示しており、ここで 90 度方向が機首で -90 度方向が後方となる。モノポールアンテナであるため、Z 軸方向にヌル点が存在し、± 50 度ほどで利得が 0dBi 以下となっている。また放射パターンにリップルが有るのは、機体が導電性の



(a) 3次元放射パターン



(b) ZX面放射特性



(b) ZX面放射特性

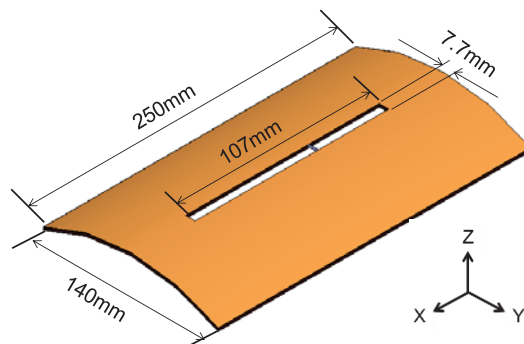
図5 ベント型モノポールとアンテナの放射特性

### 3.2 スロットアンテナ

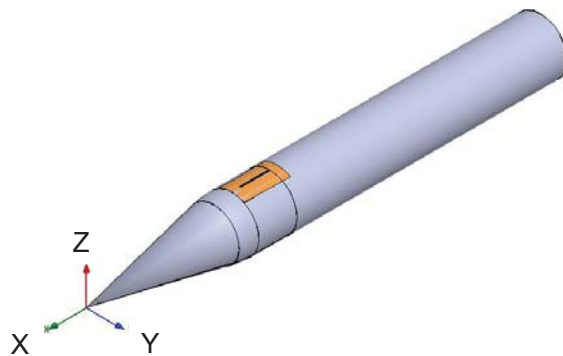
機体の空力性能に影響を与えない平面型のアンテナとして、スロットアンテナ<sup>10)</sup>の検討を行った。スロットアンテナの形状を図6(a)に、またスロットアンテナをCFRPの胴体に装着した解析構造を図6(b)に示す。また、アンテナ単体としては図7に示すような放射特性を有する。

図4 モノポールアンテナの放射特性

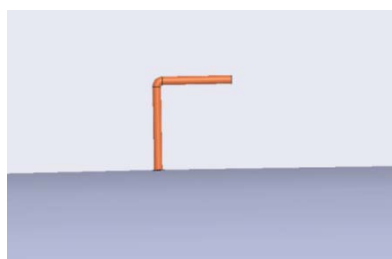
CFRPのためで、特に胴体の長い後方でその影響が顕著である。放射パターンには0度方向にヌル点があるため、受信点が機体直下にある場合や飛行姿勢によっては、受信電力の低下が考えられる。そこで、Z軸方向のヌル点を改善するため、図5(a)に示すような、モノポールアンテナの先端部分を折り曲げたベント型モノポールも評価した。Z軸方向のヌル点が若干解消されるが、それでも図5(b)に示すように±60度は0dBi以下の利得となっている。



(a) スロットアンテナの形状



(b) 解析構造



(a) ベント型モノポール部拡大図

図6 スロットアンテナ

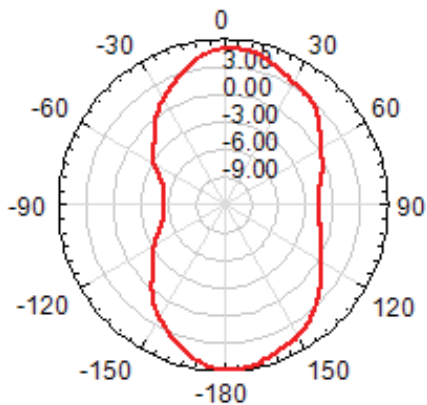
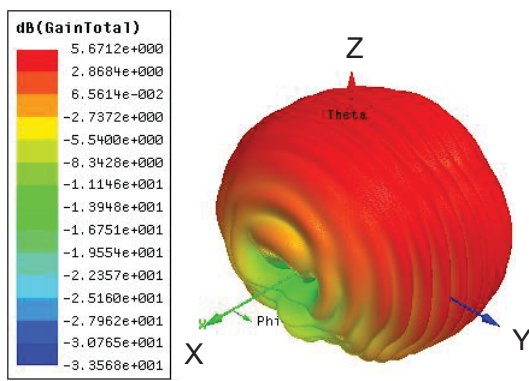
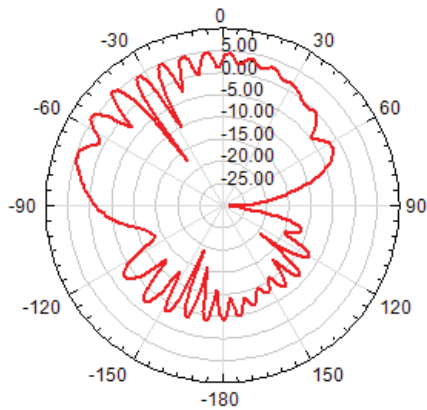


図 7 スロットアンテナの単体での放射特性



(a) 3次元放射パターン



(b) ZX面放射特性

図 8 胴体に装着したスロットアンテナの放射特性

次に図 6 (b)に示すように胴体にアンテナを装着すると図 8 に示す通り、放射パターンにリップルが生じているのが確認できる。このとき 90 度方向が機首方向である。機首方向に比べ、胴体のある後方、特に-30 度

から-60 度にかけては、利得の深い落ち込みがあり、胴体の影響が大きいことがわかる。なお図として示していないが、胴体を繊維強化プラスチック (FRP: Fiber Reinforced Plastics) にした場合も解析を行った。結果、FRP ではこのようなリップルが無いことを確認している。

### 3.3 スロットアンテナの評価

シミュレーションを基に、厚さ  $t=0.3\text{mm}$ 、長さ  $L=250\text{mm}$ 、幅  $W=150\text{mm}$  の銅板に、図 9 示すように長さ  $L_1=107\text{mm}$ 、幅  $W_1=6\text{mm}$  のスロットを形成し、放射特性を評価した。

このスロットアンテナは、スロット中央で給電すると給電点インピーダンスが約  $500\Omega$  であるが、給電位置をずらすことで  $200\Omega$  で給電できる。そこで 1:4 バランを用いて評価を行った。バランの平衡ポートを  $200\Omega$  で終端した場合の周波数特性を図 10 に示す。整合のとれている周波数が若干低周波側で整合しているが、今回の測定には問題ないと判断し、このバランで評価を行った。

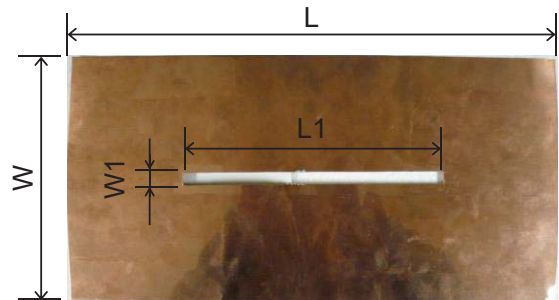


図 9 試作したスロットアンテナの概観

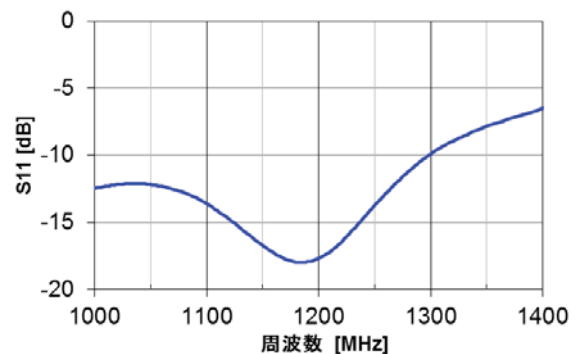
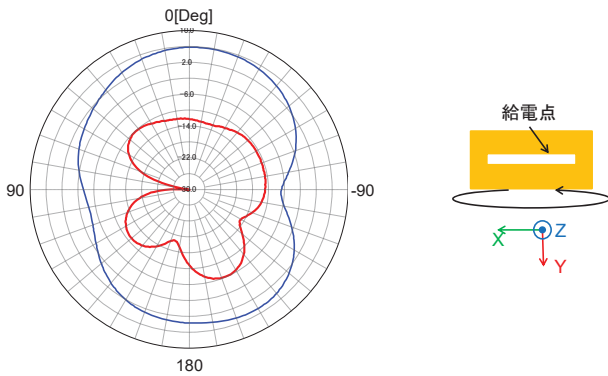


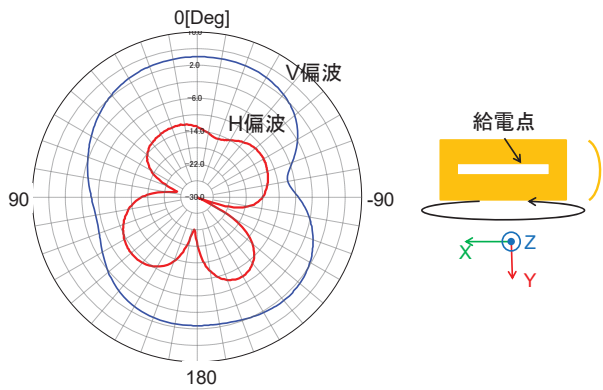
図 10 1:4 バランの周波数特性

試作アンテナの放射特性を以下に示す。まず最初にスロットアンテナ単体での放射特性を確認した。図 11 (a) は平面型のスロットアンテナの場合で、最大利得が  $5.8\text{dBi}$  であった。また図 11 (b) はアンテナを胴体

に装着することを想定し、曲面にした場合の ZX 面での放射特性である。この場合の最大利得は、平面の場合より若干利得が下がり、4.1dBi であった。



(a) 平板型のスロットアンテナ



(b) 曲面型のスロットアンテナ

図 11 スロットアンテナの放射特性

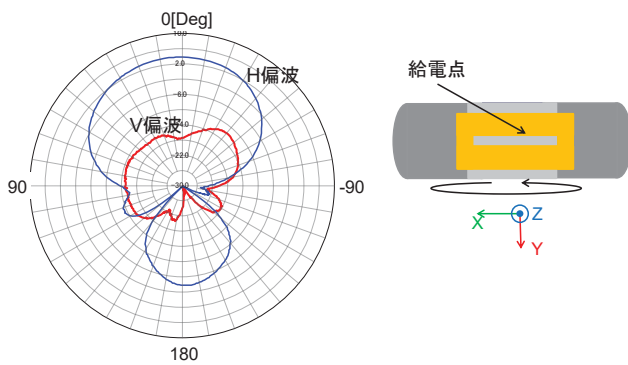


図 12 金属筒にアンテナを装着した場合の放射特性

次に胴体にアンテナを装着した場合の影響について基礎検討を行った。今回は直径 300mm 金属筒が無く、手持ちの直径 210mm、長さ約 1m の胴体部を模擬し

た金属筒で評価を行った。評価結果を図 12 に示す。最大利得は 3.9dBi であった。この金属筒の長さでは、シミュレーションにおいても、胴体に装着した場合シミュレーションのように放射パターンにヌル点が見れることはなかった。

#### 4 おわりに

小型無人超音速実験機に搭載予定のテレメトリ装置に用いる 1.2GHz 帯アンテナについて、炭素繊維強化プラスチック (CFRP) を胴体として用いた場合のアンテナの放射特性に与える影響を含めた検討を行った。シミュレーションの結果、導電性の胴体にスロットアンテナを装着すると、モノポールアンテナに比べ、放射パターンに大きなリップルが生じることが判明した。またスロットアンテナを試作し評価した結果、アンテナ単体では 5.8dBi の利得があり、シミュレーションとも良い一致を見た。さらに胴体に装着することを模擬し、金属筒に試作アンテナを張り付けた状態での放射パターンの測定もおこなったが、筒長が短いためかシミュレーション、測定とも放射パターンにリップルは出なかった。

今後、胴体長を変え、放射パターンへの影響の評価や、実際の素材である CFRP にアンテナを搭載した場合での放射特性への影響やその対策について検討する計画である。

#### 文 献

- [1] 北沢祥一, 上羽正純, “小型無人超音速実験機テレメトリ用指向性切り替えアンテナに関する考察,” 第 58 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 3E-10, November, 2014
- [2] A. Galehdar, P.J. Callus and K. Ghorbani, "A Novel Method of Conductivity Measurements for Carbon-Fiber Monopole Antenna," IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol.59, no.6, pp.2120-2126, June 2011
- [3] “アンテナ工学ハンドブック”, 電子情報通信学会編, pp152-154, オーム社, 平成 20 年 7 月 25 日

# FRP シート接着により曲げ補強した H 形鋼梁の耐荷性状

三上 浩\*1, 栗橋 祐介\*2, 小室 雅人\*2, 岸 徳光\*3

## 1 はじめに

近年の気象変動の極端化は全世界的な傾向となっており、これにより様々な災害が引き起こされている。特に、我が国では集中豪雨や台風に伴う落石、土石流および竜巻飛来物等による甚大な被害が多発している。また、その被害規模と発生件数は増加の一途を辿っている。このような環境下において、我が国では安心して安全な社会生活を維持してゆくための方策として、社会基盤の強靱化を推進している。これにより、様々な構造物の耐衝撃性評価および耐衝撃性向上に対するニーズが高まってきている。

衝撃的外力の作用を想定すべき鋼構造物としては、落石防護柵や落石防護網に用いられる支柱、鋼製ロックシェッドの各部材は勿論のこと、鋼骨組製の建築物などが挙げられる。これまで、著者らは鋼構造物の耐衝撃性や耐衝撃挙動の解明を目的に、H 形鋼梁の重錘落下衝撃実験や三次元弾塑性衝撃応答解析を行っている<sup>1)</sup>。これらの研究の主な検討項目は、部材の耐衝撃挙動やエネルギー吸収特性であることから、部材の塑性変形や局所変形を含めた検討を行っている。一方、既設鋼構造物の耐衝撃性向上法に関する検討はほとんど行われていない。

既往の研究では、鋼橋の補修補強方法として連続繊維シート (以後、FRP シート) 接着工法に着目し、その実用化に向けた検討を行っている<sup>2),3)</sup>。本工法の利点は、連続繊維シートに樹脂を含浸硬化させて FRP 化し鋼材と一体化する工法であるため、従来の鋼板当て板工法のように溶接や削孔などに伴う母材の損傷を回避できる点にある。また、錆による腐食減肉による補強効果の減少なども生じない。既往の

研究では鋼橋の維持管理を目的としているため、鋼部材が塑性化し大変形する場合における FRP シートの付着性能等についてはほとんど検討されていない。FRP シート接着工法を鋼構造物の耐衝撃性向上法の 1 つとして実用化するためには、大変形時におけるシートの付着性状についても検討する必要があるものと考えられる。

このような背景より、本研究では、鋼構造物の耐衝撃性向上法として FRP シート接着工法に着目し、その補強効果を検討するための基礎資料の収集を目的に、FRP シートで曲げ補強した H 形鋼梁の 4 点曲げ静載荷実験を行った。補強方法としては、鉄筋コンクリート (RC) 構造物の耐衝撃性向上法として検討が推進され、一部で実用化されているアラミド繊維製 FRP シート (以後、AFRP シート)<sup>4)~7)</sup>を用いることを基本として、繊維目付量の異なる場合や、鋼板もしくは低弾性の FRP シートを併用する場合について検討した。

## 2 実験概要

### 2.1 試験体概要

表 1 には、本実験に用いた試験体の一覧を示している。試験体数は、無補強の他、補強方法を 4 種類に変化させた全 5 体である。N 試験体は無補強であり、A830 および A1245 試験体はそれぞれ目付量 830, 1245 g/m<sup>2</sup> の AFRP シートで曲げ補強した試験体である。また、A830-P および A830-S 試験体は、目付量 830 g/m<sup>2</sup> の AFRP シートと鋼梁底面の間にそれぞれ、ポリエチレンテレフタレート (PET) 製 FRP シート (以後、PFRP シート) および厚さ 1.5 mm の薄鋼板を用いた試験体である。

表 1 に示している補強材の軸剛性は、後述の表 2 に示す各材料の力学特性を用いて弾性係数  $E$  × 断面積  $A$  として評価している。また、軸剛性比は、補強量の指標として(1)式により求めた。

\*1: 三井住友建設 (株)

\*2: 室蘭工業大学 暮らし環境系領域

\*3: 釧路工業高等専門学校

$$\text{軸剛性比(\%)} = \frac{\text{補強材の軸剛性}}{\text{H形鋼梁の軸剛性}} \times 100 \quad (1)$$

ここで、A830/1245 試験体は、フランジ部の腐食減肉に伴い低下した耐荷性能の回復や大変形時における耐衝撃性向上効果を想定して繊維目付量を設定した。そのため、補強材の軸剛性比は 1.5~2.0% となっている。

また、A830-P 試験体は、AFRP シートと梁の中間層に弾性係数の低い PFRP シートをを用いること

による付着せん断応力の低減効果や、それに伴う付着性能の改善効果を検討するための試験体である。また、A830-S 試験体は、鋼板接着により H 形鋼梁の曲げ剛性の向上を図るとともに、AFRP シート接着により鋼板の腐食を抑制することを想定した試験体である。そのため、鋼板の接着範囲は、シートの接着範囲よりも全周において 15 mm ずつ内側の範囲としている。また、補強材の軸剛性比は最も大きく 7% 程度となっている。

図 1 には、H 形鋼梁の形状寸法、補強概要およびひずみゲージの貼り付け位置を示している。H 形鋼

表 1 試験体の一覧

試験体名	補強材	補強材の軸剛性(MN)	軸剛性比(%)
N	-	-	-
A830	AFRP シート (830g/m <sup>2</sup> )	101.2	1.40
A1245	AFRP シート (415g/m <sup>2</sup> ) + AFRP シート (830g/m <sup>2</sup> )	151.8	2.10
A830-P	PFRP シート (1250g/m <sup>2</sup> ) + AFRP シート (830g/m <sup>2</sup> )	114.8	1.58
A830-S	薄鋼板 (1.5mm) + AFRP シート (830g/m <sup>2</sup> )	502.9	6.94

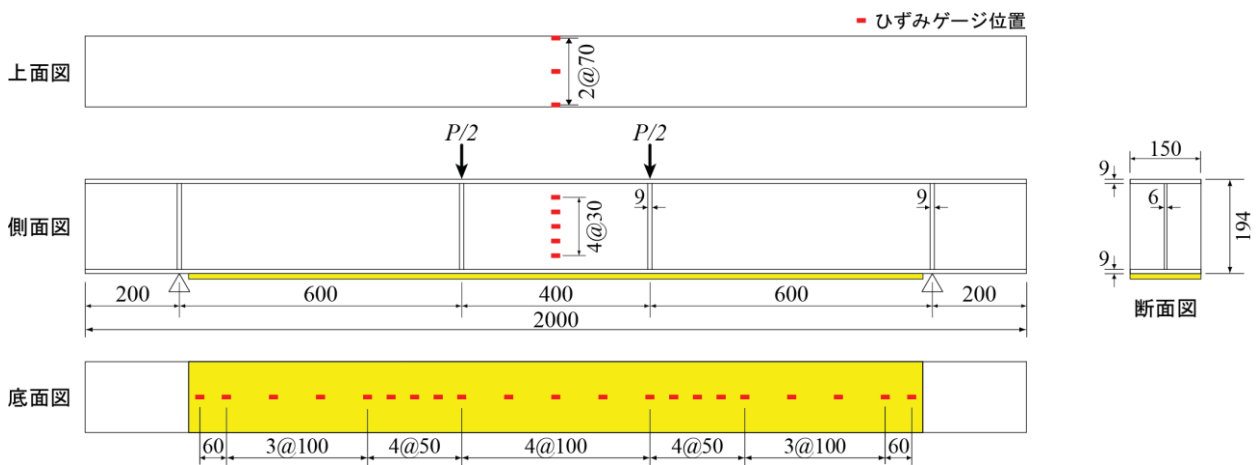


図 1 試験体の形状寸法

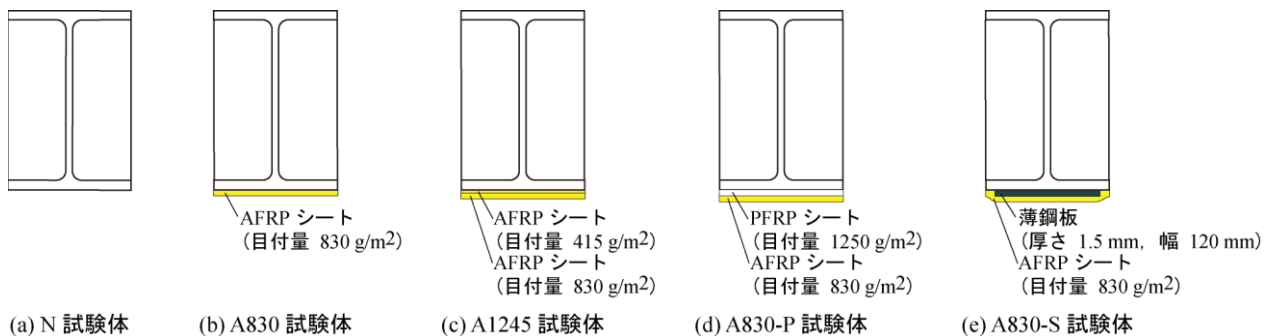


図 2 各試験体の断面図



表 2 H 形鋼梁の実寸法および力学的特性値

部位	厚さ(mm)	弾性係数(GPa)	降伏強度(MPa)	引張強度(MPa)
フランジ	8.5	206	310	436
ウェブ	5.5		380	469

表 3 各補強材の力学的特性値

材料	目付量(g/m <sup>2</sup> )	厚さ(mm)	弾性係数(GPa)	降伏強度(MPa)	引張強度(MPa)	破断ひずみ(μ)
AFRP	415	0.286	118	-	2060	17,500
	830	0.572				
PFRP	1250	0.906	10	-	740	70,000
薄鋼板	-	1.5	206	310	436	-

梁の断面寸法は、幅 × 高さが 150 mm × 194 mm で、フランジ厚およびウェブ厚はそれぞれ 9 および 6 mm である。また、全長は 2 m、支点間の長さは 1.6 m とした。

支点部および載荷点部にはウェブおよびフランジの座屈防止のために厚さ 9 mm の補剛板を溶接した。H 形鋼梁の底面には、FRP シートを接着している。なお、本実験では、既設構造物の補修補強を対象としているため、接着範囲は梁中央部から両支点の 5 cm 程度内側までの範囲としている。

図 2 には、各補強試験体の補強概要に関する断面図を示している。A830 試験体には、目付量 830 g/m<sup>2</sup> の AFRP シートを 1 層用いている。A1245 試験体の場合には、目付量 415 g/m<sup>2</sup> の AFRP シートの上から事前含浸した目付量 800 g/m<sup>2</sup> の AFRP シートを積層して接着している。また、A830-P および

A830-S 試験体は、それぞれ PFRP シートおよび薄鋼板上に事前含浸した目付量 830 g/m<sup>2</sup> の AFRP シートを積層する形で接着した。なお、FRP シートによる補強を施す試験体には、あらかじめ補強底面の表面処理としてブラスト処理およびプライマー塗布を行っている。

表 2、表 3 および表 4 には、それぞれ、H 形鋼梁、各補強材および含浸樹脂の力学的特性値の一覧を示している。なお、鋼材については、5 号試験片による引張試験結果、AFRP および PFRP シート、含浸接着樹脂については公称値を示している。

## 2.2 実験方法と測定項目

写真 1 には、実験状況を示している。実験は 4 点静的曲げ載荷により行った。中央部の載荷点間隔は 400 mm とした。荷重は容量 500 kN の油圧ジャッキを用いて作用させた。

測定項目は、載荷荷重、各点の変位およびひずみである。ひずみはゲージ長 10 mm の箔ひずみゲージを用いて測定した。ひずみの測定位置は、図 1 に示している通りである。実験終了後には、試験体の変形状況やシートの剥離状況などを観察するとともに写真撮影を行った。また、「連続繊維シートとコンクリートの接着試験方法(案)」に準拠して補強材と鋼梁の接着強度試験を実施した。

表 4 含浸樹脂の力学的特性値

圧縮強度(MPa)	曲げ強度(MPa)	引張せん断強さ(MPa)
35	40	10



写真 1 実験写真

## 3 実験結果

### 3.1 荷重－変位関係

図 3 には、各試験体の荷重－変位関係に関する実験結果を示している。ここでは、荷重  $P=200$  から 360 kN における耐荷性状に着目した拡大図も併せて示している。図より、いずれの試験体の場合においても、荷重  $P=240$  kN 程度までは変形量の増加

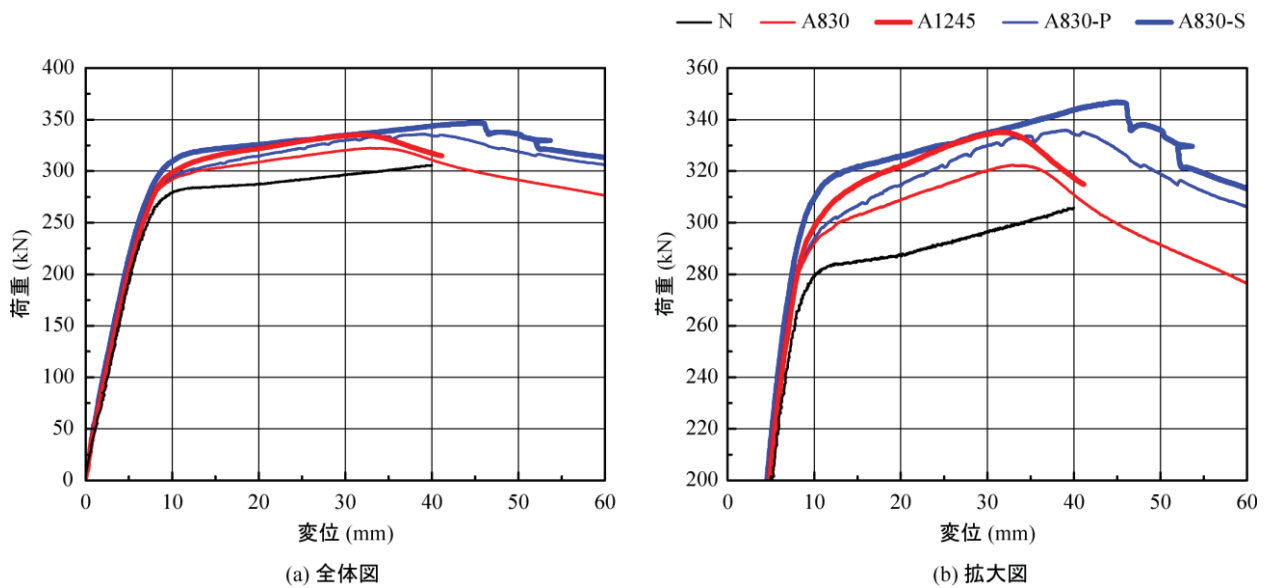


図 3 荷重-変位関係

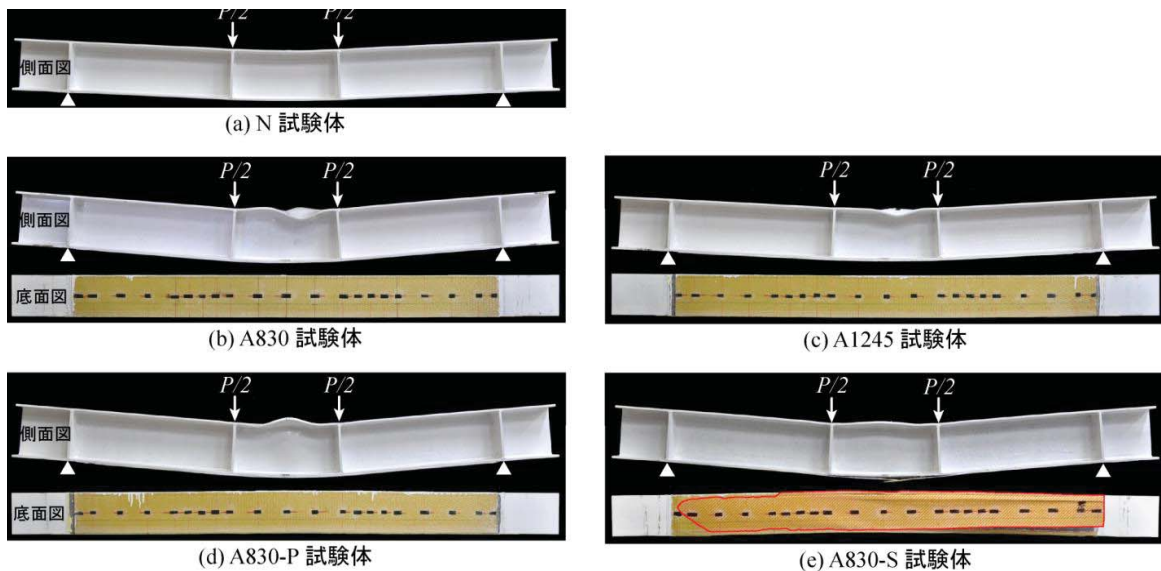


写真 2 各試験体の変形状況

に伴って、荷重がほぼ線形に増加していることが分かる。荷重の増加勾配は、補強することにより僅かに大きくなるものの、補強方法による違いはほとんどないことが分かる。

無補強の N 試験体の場合には、 $P = 260 \text{ kN}$  程度において荷重の増加勾配が大きく低下し、変位  $\delta = 20 \text{ mm}$  程度までは  $P = 285 \text{ kN}$  程度となっている。また、変位  $\delta = 20 \text{ mm}$  程度以降においては、荷重の増加勾配がわずかに上昇する傾向にある。これは、鋼材のひずみ硬化によるものと考えられる。

A830 試験体の場合には、N 試験体よりも  $20 \text{ kN}$  程度大きな荷重で増加勾配が低下するものの、その後の増加勾配は N 試験体の場合よりも大きい。こ

れは、鋼梁の下フランジ降伏後、AFRP シートの補強効果がより明確に現れたことによるものである。また、変位  $\delta = 35 \text{ mm}$  程度で荷重が低下している。これは、後述の 写真 2 に示すように上フランジが座屈したことによるものと考えられる。

A1245 試験体の場合には、A830 試験体の場合よりもさらに降伏荷重および最大荷重が大きくなる傾向にあるものの、最大荷重時変位は小さくなっている。これは、曲げ補強量の増加により、梁の曲げ耐力が向上する一方で上フランジの負担が大きくなったことによるものである。

A830-P 試験体の場合には、 $P = 290 \text{ kN}$  までは A830 試験体とほぼ同様の性状を示しているものの、

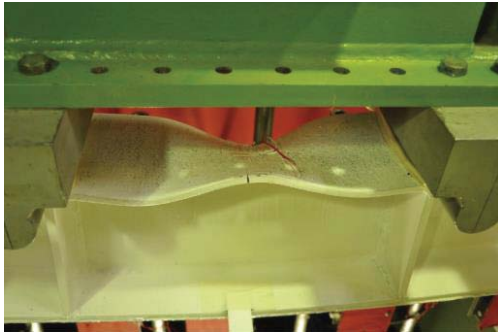


写真 3 荷重実験時における等曲げ区間の座屈状況

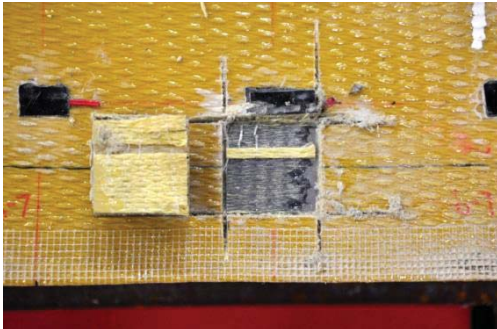


写真 4 接着強度試験状況と界面の状況の一例



写真 5 A830-S 試験体のシートの断裂・剥離状況

その後の増加勾配は A830 試験体の場合よりも大きくなっている。これは、変形量の増加に伴って PFRP シートの補強効果が発揮されていることによるものと考えられる。また、最大荷重および最大荷重時変位はともに A830 および A1245 試験体の場合よりも大きい。

A830-S 試験体は、 $P = 300 \text{ kN}$  程度において荷重の増加勾配が急激に低下している。しかしながら、その後の増加勾配は、A830 試験体よりも小さい。これは、補強材に薄鋼板を用いているため降伏荷重が大きいものの、降伏後に AFRP シートが薄鋼板との界面で剥離し、シートの補強効果が発揮されてい

いことによるものと考えられる。なお、シートの剥離状況については後述することとする。

### 3.2 破壊性状および接着試験結果

写真 2 には、実験終了後における各試験体の変形状況を示している。なお、無補強の N 試験体は、他の試験体よりも小さな変位で荷重を終了しているため、スパン中央部近傍は座屈しているものの明瞭には認められない。補強試験体は、いずれの場合もスパン中央部の上フランジおよびウェブが著しく座屈していることが分かる。

実験時には、H 形鋼梁の大変形に伴う補強材の付着せん断応力の増大や剥離破壊を想定して、変位 60 mm 程度まで荷重を続けたものの、等曲げ区間の上フランジおよびウェブが座屈して、上フランジの著しい変形を伴う横倒れ座屈が発生した。そのため、実験の安全性を考慮して荷重を終了した。写真 3 には、実験時の状況を示している。

梁底面においては、A830/1245 および A830-P 試験体の場合にはシートの剥離は見られなかった。点検棒による打音検査によっても浮きなどの変状は確認されなかった。写真 4 には、A1245 試験体の接着強度試験状況および試験後における界面の状況の一例を示している。接着試験は、各試験体においてスパン中央部、端部および後述する最大付着せん断応力が発生するスパン中央部から 300 mm 程度支点側の位置で行った。

写真に示しているように、剥離はシートと母材の間で生じており、このような状況は A830-S 試験体を除いた他の試験体においても同様であった。また、接着強度は 7~8 MPa 程度であった。

A830-S 試験体の場合には、写真 5 に示すように AFRP シートが薄鋼板の縁で軸方向に断裂し、薄鋼板上の AFRP シートが剥離している。後述するように、AFRP シートは早期に剥離していることから、薄鋼板の縁の段差部近傍においてシート剥離に影響を与える応力が作用し、AFRP シートの断裂・剥離が生じたものと推察される。この点については、今後も検討してゆく必要があるものと考えている。なお、薄鋼板と鋼梁の接着は確保されており、実験終了後においても浮きや剥離は全く認められなかった。

### 3.3 AFRP シートの軸方向ひずみ分布性状

図 4 には、荷重初期から部材降伏時近傍におけるシートのひずみ分布性状を検討するため、荷重  $P = 125, 250, 275, 300 \text{ kN}$  時の実験結果を各試験体について示している。図より、いずれの試験体も荷重増加に伴ってひずみが増大しており、特に荷重点部に

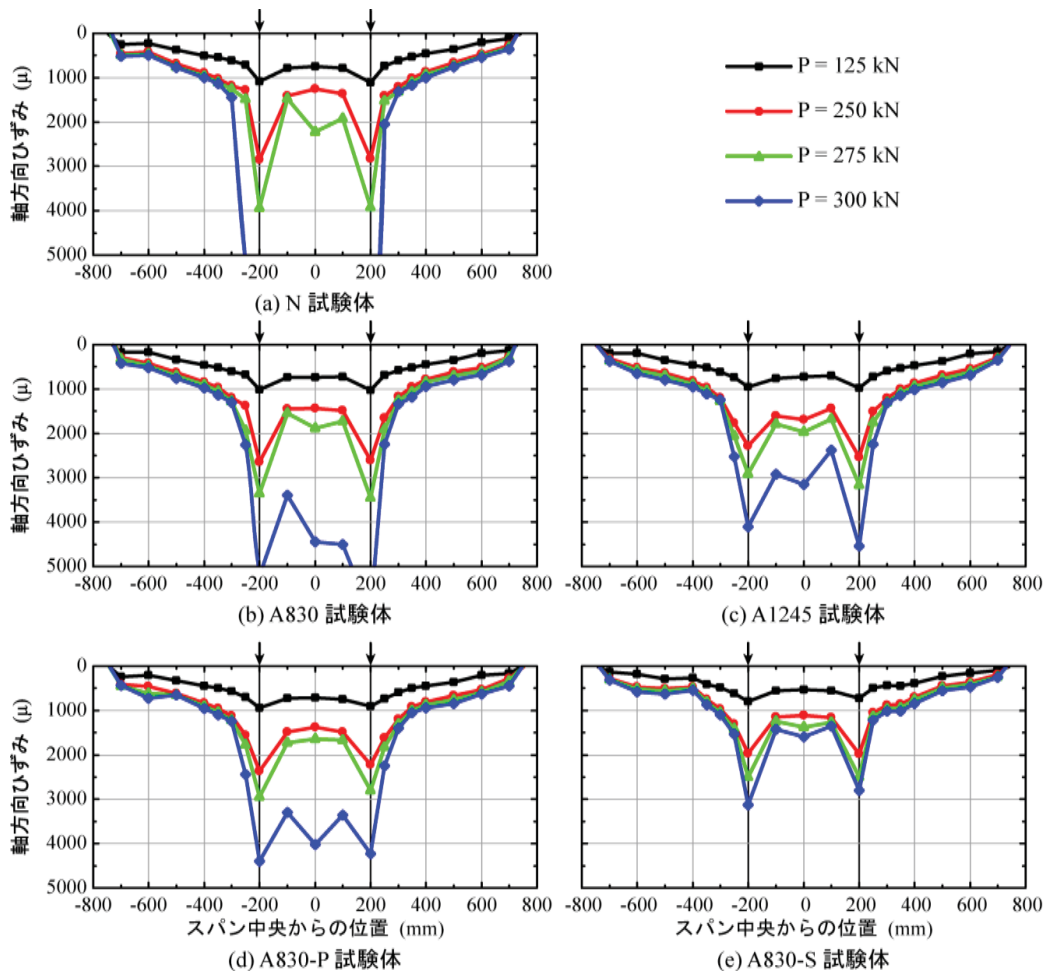


図 5 主鉄筋降伏までの AFRP シートの軸方向ひずみ分布性状

において大きなひずみが発生していることが分かる。これは、載荷点部には補剛板が溶接されているため、鉛直荷重が直接的に梁下縁に伝達されることによるものと考えられる。従って、荷重が作用する補剛板周辺のシートと梁下面の接着界面には、周囲よりも大きな付着せん断応力が作用しているものと考えられる。

同一荷重時における各試験体のひずみ分布を比較すると、補強試験体は無補強の場合よりも全般的にひずみが小さいことが分かる。また、その傾向は、補強材の軸剛性  $EA$  が大きい場合ほど顕著であることが分かる。このことから、載荷初期から部材降伏時近傍において、各シートの補強効果が発揮されており、その効果は補強材の軸剛性が大きい場合ほど大きいことが明らかになった。

図 5 には、降伏後におけるひずみ分布の推移を検討するため、変位  $\delta = 10, 20, 30, 40, 50$  および  $60$  mm 時の実験結果を各試験体について示している。図より、A830/1245 および A830-P 試験体の場合に

は、変位の増加に伴って、ひずみが徐々に増大する傾向にあることが分かる。特に、スパン中央部のひずみが大きくなっている。これは、等曲げ区間の上フランジが座屈したため、見かけ上の断面二次モーメントが減少し、この部分の曲率が増大したことによるものと考えられる。一方、せん断スパンにおいては、載荷点近傍においてひずみ勾配が急増していることから、シート接着界面の付着せん断応力が増大しているものと考えられる。

なお、A830-P 試験体の大ひずみの発生範囲は、A830 試験体の場合よりも幾分大きい。これは、AFRP シートと鋼梁の間に弾性係数の低い PFRP シートを配置しているため、付着に抵抗する領域が多少増加したことによるものと推察される。この点については、衝撃荷重が作用する場合を含めて、今後の検討課題としたい。

A830-S 試験体の場合には、変位  $\delta = 20$  mm 時以降から AFRP シートのひずみが均等化する傾向を示しており、 $\delta = 30$  mm 時にはひずみの均等化範囲

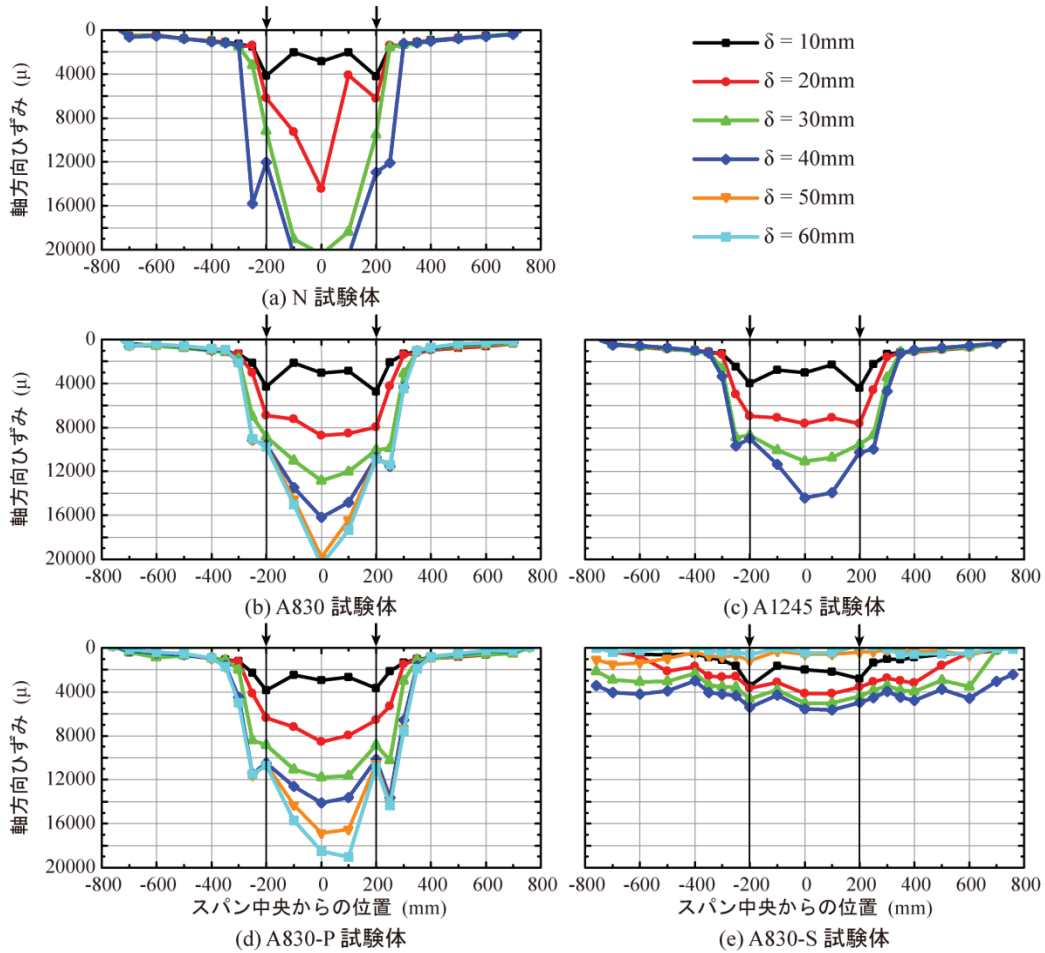


図 5 降伏以降の AFRP シートの軸方向ひずみ分布性状

表 5 最大付着せん断応力

試験体名	軸剛性 (MN)	軸剛性比 (%)	最大荷重 $P_{max}$ (kN)	最大付着せん断応力 $\tau_{max}$ (MPa)
A830	101.2	1.40	322.5	9.6
A1245	151.8	2.10	335.3	13.2
A830-P	114.8	1.58	336.0	11.3

がほぼ支点側まで到達している。これは、シートと薄鋼板との剥離が変位の増加に伴って発生・進展していることを示している。また、変位  $\delta = 60 \text{ mm}$  においては、シートが完全に剥離し、ひずみが零まで低下している。

### 3.4 最大付着せん断応力

表 5 には、各補強試験体の最大付着せん断応力を示している。最大付着せん断応力  $\tau_{max}$  は、FRP シートの各位置において隣接するひずみゲージ間に生ずる平均付着せん断応力の最大値として評価した。

各試験体の最大付着せん断応力  $\tau_{max}$  は下式により算出した。なお、A830-S 試験体は、AFRP シートが剥離したことより検討から除外している。

A830/1245 試験体

$$\tau_{max} = (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) E_{at} / l$$

A830P 試験体

$$\tau_{max} = (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) (E_{at} + E_{pt}) / l$$

ここに、 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ : その差分が最大になる隣接する実測ひずみ、 $E_a$ : AFRP シートの弾性係数、 $t_a$ : AFRP シートの設計厚さ、 $E_p$ : PFRP シートの弾性係数、 $t_p$ : PFRP シートの設計厚さ、 $l$ : 隣接するひずみゲージ間の距離、である。

表より、最大付着せん断応力  $\tau_{max}$  は、A1245 試験体の場合が最も大きく、次いで A830-P、A830 試験体の順に大きいことが分かる。また、最大荷重は A830-P 試験体が最も大きいにもかかわらず、最大付着せん断応力は A1245 試験体よりも小さい。

これは、弾性係数の低い PFRP シートを中間層に用いることで、付着せん断応力が緩和されたことによるものと推察される。この点については、今後さらに検討を進めてゆく必要がある。

このことから、軸剛性比が 2 % 程度の補強量の場合には、H 形鋼梁が降伏し大きく変形する場合においても、シートの剥離は生じず、最大付着せん断応力は 13 MPa 程度以上であることが明らかになった。

#### 4 まとめ

本研究では、鋼構造物の耐衝撃性向上法として FRP シート接着工法に着目し、その補強効果を検討するための基礎資料の収集を目的に、FRP シートで曲げ補強した H 形鋼梁の 4 点曲げ静載荷実験を行った。補強方法としては、AFRP シートをを用いることを基本として、繊維目付量の異なる場合や、鋼板もしくは低弾性の FRP シートを併用する場合について検討した。本実験により得られた知見をまとめると以下の通りである。

- 1) 補剛板配置位置に荷重が作用する場合には、下縁ひずみが大きくなる傾向にある。シート補強する場合には、付着せん断応力の増加要因となる可能性があることに留意する必要がある。
- 2) AFRP シートの鋼梁との付着性能は、スパン中央部の上フランジやウェブが座屈して断面の曲率が急増する場合においても確保される。本実験においては、付着せん断応力が 13 MPa 程度発生する場合においてもシート剥離には至らなかった。
- 3) シート補強量を大きくすることにより、H 形鋼梁の降伏および最大荷重が増加するものの、最大荷重時変位は小さくなる。
- 4) 弾性係数の低い PFRP シートを併用する場合に

は、シートの接着界面に生じる付着せん断応力を低減できる可能性がある。

- 5) 薄鋼板を併用する場合には、降伏荷重到達後シートが鋼板から剥離するものの、薄鋼板と鋼梁の付着は終局まで確保されている。

今後は、スパンが長い場合、シート補強量が大きい場合の検討を行うとともに、衝撃荷重載荷時における補強効果やシートの剥離挙動について検討する予定である。

#### 参考文献

- 1) 葛西勇輝, 小室雅人, 栗橋祐介, 岸 徳光: 重錘落下衝撃を受ける H 形鋼梁の耐衝撃挙動, 鋼構造年次論文報告集, Vol. 23, 2015.11
- 2) 土木学会: FRP 接着による鋼構造物の補修・補強技術の最先端, 複合構造レポート 05, 2012.6
- 3) 土木学会: FRP 部材の接合および鋼と FRP の接着接合に関する先端技術, 複合構造レポート 09, 2013.11
- 4) 栗橋祐介, 西 弘明, 三上 浩, 小室雅人, 岸 徳光: AFRP シートで曲げ補強した T 型 PC 梁の重錘落下衝撃実験, 構造工学論文集, Vol. 61A, pp. 980-989, 2015.3
- 5) 三上 浩, 栗橋祐介, 今野久志, 岸 徳光: 衝撃載荷によって損傷を受けた RC 梁の AFRP シート曲げ補強による耐衝撃性向上効果, 構造工学論文集, Vol. 61A, pp. 990-1001, 2015.3
- 6) 栗橋祐介, 今野久志, 三上 浩, 岸 徳光: AFRP シート補強 T 形 PC 梁の耐衝撃挙動に及ぼす補強方法の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 37, No. 2, pp. 1147-1152, 2015.7
- 7) 佐藤元彦, 栗橋祐介, 三上 浩, 岸 徳光: AFRP および PFRP シートで曲げ補強した RC 梁の重錘落下衝撃実験, コンクリート工学年次論文集, Vol. 37, No. 2, pp. 1153-1158, 2015.7

# 航空機ジェットエンジン耐酸化コーティング手法としての アルミニウム・ニッケル複合めっきの開発

金 志元, 佐伯 功<sup>\*1</sup>, 吉岡 隆幸, 成田 敏夫<sup>\*2</sup>

## 1 はじめに

ガスタービンは小型高出力エンジンとして航空機では一般的に用いられている。また、近年 LNG 発電において蒸気タービンと組み合わせたコンバインド発電は一般的であり、さらに将来は固体酸化燃料電池を加えたトリプルコンバインド発電システムの中で用いられようとしている<sup>1)</sup>。

ガスタービンの効率向上のため、燃焼温度は上昇し続けている。タービン燃焼段はとりわけ高温・酸化性・高遠心力の過酷環境となるため、材料には高温強度、高温耐クリープ性ととも、耐高温酸化性が求められる。現在燃焼段のタービンブレードは基材としては、機械的特性に優れたニッケル基単結晶合金が用いられており、最外層には合金表面温度低下のために、安定化ジルコニアを用いたサーマルバリアコーティング (TBC) が施されている。しかし、TBC は多孔質のため、雰囲気中の酸素の侵入により合金表面が酸化し、機械的特性が低下すると同時に基材/TBC 界面に熱成長酸化物 (TGO) が生成し、TBC が剥離することが問題となっている<sup>2)</sup>。

従来の研究で、基材合金に Re-Cr 系拡散防止コーティング、さらにその上に Ni-Al をコーティングし、さらに TBC コーティングを行うと、TGO としてごく薄いアルミナ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) が形成し、これが長期間にわたって安定に TBC と基材を接合できることがわかっている。この Ni-Al コーティングははじめに Ni を電気めっきし、その後閉鎖容器中で Al を蒸気にし、Ni めっき層と拡散浸透・反応させて作成している<sup>3)</sup>。この過程は高温か

つ金属蒸気を用いるため煩雑であり、より簡単なプロセスでの Ni-Al 金属間化合物層の作成が望まれている。

複合めっきとは金属を電気めっきする際、めっき浴中に粉体粒子を分散しておくことにより、めっき金属に粒子を同時に析出させる方法である。この方法によって、例えばレシプロエンジンのシリンダー内面に Ni-SiC 複合めっきを施して、シリンダーの摩耗を防ぐ、金属とテフロン粒子を共析することにより撥水性・低摩擦の表面を作成するなどの技術が実用化されている。テフロン粒子をはじめ、複合めっきには非導電性粒子が用いられており、逆に金属粒子の様に導電性粒子が用いられた例はなかった<sup>4)</sup>。

一方、Liu らは Ni めっき浴に Al 粒子を分散させ電解すると、Al を 25 at% 以上含む複合めっき膜を得た。これは金属-金属粒子の複合電析に関する唯一の報告と思われる。また、得られた膜を還元雰囲気中、600°C までの温度でアニールすると Al 粒子表面に Ni<sub>3</sub>Al 層が生成することを見出した。この金属間化合物の融点は高く、アニールによって完全な Ni<sub>3</sub>Al 層が得られれば、従来の Ni<sub>3</sub>Al 生成方法を代替する可能性がある<sup>6-8)</sup>。しかし、Liu らの研究は年以後報告がなく、また、実験条件が詳細に報告されていないことから、複合電析による Ni<sub>3</sub>Al 層の形成のためには、再度同様の実験を行い、複合電析プロセスの支配因子をひとつひとつ丁寧に検討する必要があった。

そこで今回、我々は Hovelstad らが総括した複合めっきに影響を与える因子のうち<sup>9)</sup>、粉体の処理条件、電析浴の攪はん、電流密度、粉体濃度に注目し、これらが複合電析挙動に与える影響を調査した。また、複合電析を行ったステンレス鋼を還元雰囲気アニールし、目的とする Ni<sub>3</sub>Al 層が生成するかどうかを調べた。

\*1: 室蘭工業大学 大学院工学研究科

\*2: 株式会社 DBC システム研究所

## 2 実験概要

## 2.1 Al 粉末

Al 粉末は(株)高純度化学研究所から購入した(純度 99.99%, 公称直径は 3  $\mu\text{m}$ )。Al は中性以外の水溶液中では活性溶解する<sup>9)</sup>。そこで複合電析にさきだち、大気中 200-600  $^{\circ}\text{C}$  で 24 hr 加熱酸化し、表面に不働態皮膜を形成させてから用いた。

## 2.2 複合電析

めっき基板には真鍮もしくは SUS304 ステンレス鋼を用いた。Ni 電析浴には一般的な Watt 浴および Sulfamate 浴を用いた (Table 1)。これらの浴に熱処理した Al 粉末を 0.37-1.48 vol% になるように加え、マグネットスターラー攪はん下、カソード電流密度  $i_c=0.2\text{-}2\text{ A dm}^{-2}$  で Ni として 10  $\mu\text{m}$  電析した。いずれの浴を用いた場合も浴温は 40  $^{\circ}\text{C}$  とした。浴の pH 調整には濃塩酸もしくは水酸化ナトリウム粉末を用いた。

Table 1 Ni めっき浴の組成 (mol L<sup>-1</sup>)

Watt bath		Sulfamate bath	
NiSO <sub>4</sub> 6H <sub>2</sub> O	1.02	Ni(SO <sub>3</sub> NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	0.9
NiCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O	0.19	NiCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O	0.18
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.65	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.65
SDS *1	69 m		

\*1 ドデシル硫酸ナトリウム, m は 10<sup>-3</sup> を意味する。

## 2.3 ポストアニール

Ni-Al 複合電析をおこなった SUS304 ステンレス鋼を Ar-8 vol%H<sub>2</sub> 雰囲気中に置換した電気炉中で 3 もしくは 70 hr 加熱し、Ni と Al の拡散処理を行った。

## 2.4 キャラクターゼーション

めっき膜の構造同定には X 線回折 (XRD) を用いた。管球は Cu, 出力は 40 kV-50 mA, スリットは DS, SS, RS がそれぞれ 1 $^{\circ}$ , 1 $^{\circ}$ , 0.4 mm で 0.02 deg. ごとのステップスキャンを行った。膜の観察には走査電子顕微鏡 (SEM) を用いた。加速電圧 15 kV, WD=10 mm で反射電子 (BSE) を用いて観察した。また、膜中および膜断面の元素分析には SEM に付属したエネルギー分散型 X 線スペクトロメータ (EDS) を用いた。

## 3 実験結果および考察

### 3.1 複合電析に対する操作因子の影響

Fig. 1 は大気中 200-600  $^{\circ}\text{C}$  で 24 hr 熱処理した Al 粉末を 10 g L<sup>-1</sup> 加えた Watt 浴を用い、真鍮基板上に 10  $\mu\text{m}$  電析した試料の X 線回折図 (XRD 図) を示す。いずれの温度で加熱処理した場合でも、Al, Ni および真鍮の回

折線のみが検出された。このことから加熱による Al 粉末の表面酸化は確認できなかった。

次に、これらに加え、Al 粉末を 20 g L<sup>-1</sup> 加えた Watt 浴用い、めっき膜中の Al 原子含有率  $\beta$  を EDS により測定した結果を Fig. 2 に示す。 $\beta$  は Al 粉末の熱処理温度の増加とともにわずかに増加し、400  $^{\circ}\text{C}$  で処理した粉末では Ni<sub>3</sub>Al 金属間化合物の生成に必要な Al 原子分率  $\beta=0.25$  を超える Ni-Al 複合電析膜を得ることができた。

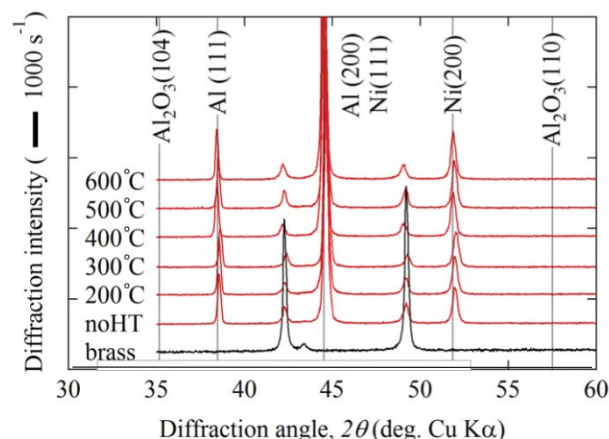


Fig. 1 Ni-Al 複合電析膜の X 線回折図形 (Watt 浴, 40  $^{\circ}\text{C}$ , 浴中 Al 含有量 10 g L<sup>-1</sup>,  $i_c=1\text{ A dm}^{-2}$ )

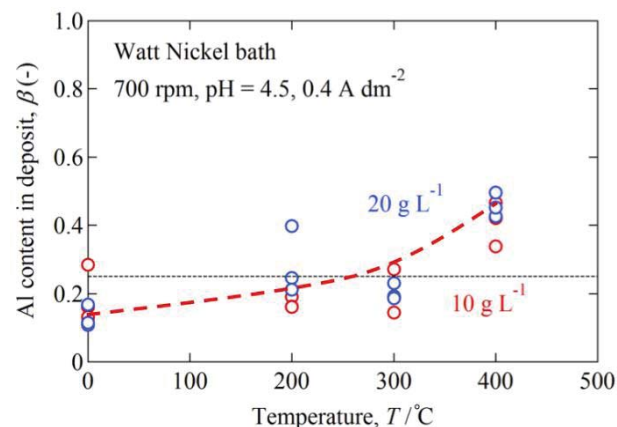


Fig. 2 Ni-Al 複合電析膜中の Al 含有率,  $\beta$ , に対する Al 粉末熱処理温度の影響。(Watt 浴, 40  $^{\circ}\text{C}$ , 浴中 Al 含有量 10, 20 g L<sup>-1</sup>, pH=4.5,  $i_c=1\text{ A dm}^{-2}$ )

Fig. 3 は種々の pH に調整した Watt 浴を用いた場合の膜中 Al 含有率に対する pH の影響を示す。データのバラつきは多いが、pH=3 の場合には  $\beta$  の値は低く、pH の増加とともに  $\beta$  は増加して pH>3.5 以上で目的とする  $\beta=0.25$  が得られることがわかった。



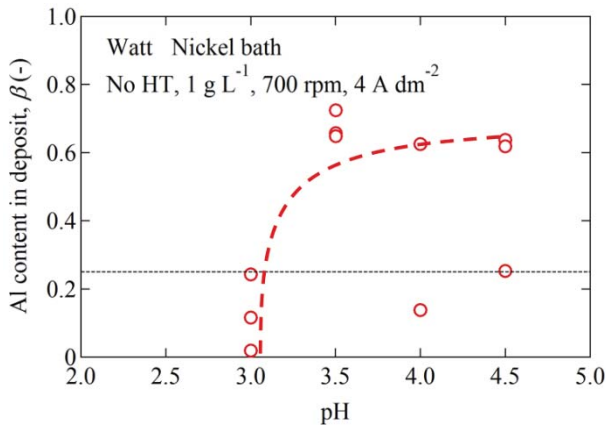


Fig. 3 Ni-Al 複合電析膜中の Al 含有率,  $\beta$ , に対する溶液 pH の影響. (Watt 浴, 40 °C, 浴中 Al 含有量 10, g L<sup>-1</sup>,  $i_c=1$  A dm<sup>-2</sup>)

Fig. 4 は pH=5 に調整した Sulphamate 浴を用いた場合の膜中 Al 含有率に対する攪はん速度の影響を示す. 特に低速度攪はんの場合にはデータのバラつきが多いが, 攪はん速度が小さい場合の方が  $\beta$  が大きいことが分かった.

これまで示したように,  $\beta$  に対する種々のめっき操作条件の影響を検討した結果, 高い温度で熱処理した Al 粉末を用い, 高い pH のめっき浴を低速で攪はんすることによって最大の  $\beta$  を得られることが分かった.

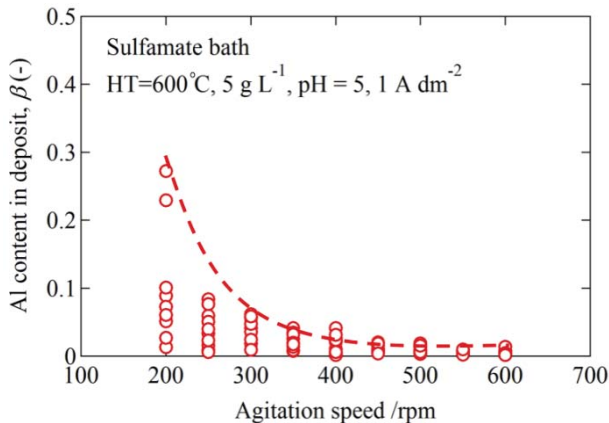


Fig. 4 Ni-Al 複合電析膜中の Al 含有率,  $\beta$ , に対する攪はん速度の影響. (Sulfamate 浴, 40 °C, 浴中 Al 含有量 5 g L<sup>-1</sup>, pH=5,  $i_c=1$  A dm<sup>-2</sup>)

Fig. 5 はこれまでの検討で明らかにした最適条件において, めっき浴中の Al 粉末含有量を変えて得られた複合めっき膜中の Al 含有率を示す. これまでの検討と同様, データのばらつきが大きいことが課題で

あるが, 浴中 Al 粉末濃度が増加すると膜中 Al 含有率は増加し, めっき電流密度の影響はあまりないことがわかる. この結果から電流密度としては 2 Adm<sup>-2</sup> 以下とし, 攪はんが可能な限り浴中 Al 粉末濃度を高くすることによって目的である 25 at%Al を含む Ni-Al 複合めっき膜が作成可能であることがわかった.

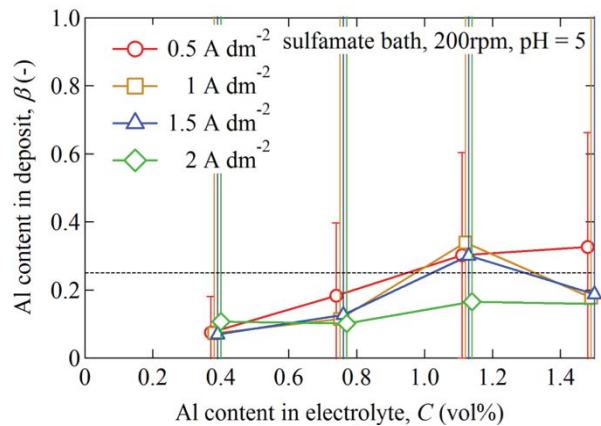


Fig. 5 Ni-Al 複合電析膜中の Al 含有率,  $\beta$ , に対する溶液中 Al 粉末濃度の影響. (600 °C 熱処理 Al 粉, Sulfamate 浴, 40 °C, 浴攪はん 200 min<sup>-1</sup>, pH=5)

### 3.2 複合電析に対する浴中 Al 濃度の影響および推定される複合電析メカニズム

Guglielmi は非導電性粒子と金属の複合めっきメカニズムを提案し, 彼のモデルは現在のところ最もありうるメカニズムとして広く認められている<sup>11)</sup>. メカニズムの詳細説明は原著を参照いただきたいが, もし Guglielmi のメカニズムが成立する場合, めっき浴中の粉体濃度  $C$  を増加させると, ある濃度以上で複合めっき膜中の粉体濃度  $\beta$  は飽和し,  $Cx(1-\beta)$  を  $C$  に対してプロットした際に直線関係が得られる.

この実験とは別に, Al 粉末に代えて  $\alpha$ -アルミナ粒子を用いて Ni-Al 複合めっきを行った場合の, 浴中アルミナ濃度と複合めっき膜中のアルミナ含有量の関係を Fig. 6 に示す. 浴中アルミナ濃度が低い場合, アルミナ濃度の増加とともに膜中アルミナ含有量は増加しおよそ 0.3 vol% 以上では膜中アルミナ含有量はほぼ一定となった (図中点線). さらに得られたデータを用いて作成した, いわゆる Guglielmi のプロットを Fig. 7 に示す. 電流密度にかかわらず, Guglielmi プロットはほぼ直線関係を示しており,  $\alpha$ -アルミナの複合めっき挙動が Guglielmi のモデルに従っていることがわかる.

本実験で得られたデータを Figs. 6, 7 に赤で重ねて示したところ, Fig. 6 では  $\beta$  の飽和挙動が確認され, また,

Fig. 7 ではほぼ直線のプロットが得られた. また,  $\beta$  の値は  $\alpha$ -アルミナと Al 粉末の場合であまり変わらないことがわかる. これらの結果から, Al を 600°C で加熱処理することにより, Al 粉末表面は酸化アルミニウムによって覆われ, Al 粉末がアルミナ粉末の如く振る舞ったと考えられる. ただし, 安定な  $\alpha$ -アルミナの生成には約 1000 °C 以上の温度が必要であり, これは Al の融点よりも高い. 600 °C で生成した酸化アルミニウムは不定形であるか, あるいは極めて薄いため, Fig. 1 の X 線回折では検出できなかったと考えられる.

今後の課題としては, 低温で Al 粒子表面を酸化物によって完全被覆することが必要であることがわかった.

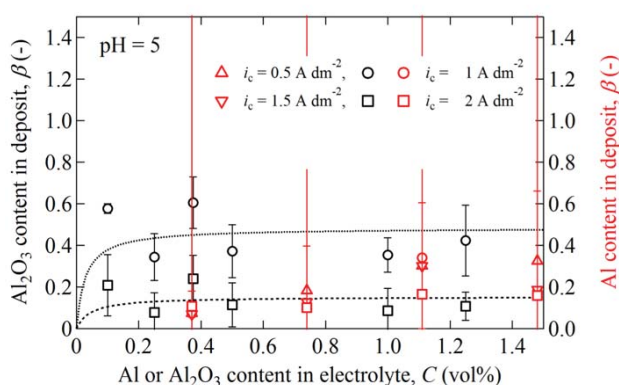


Fig. 6 Ni との複合電析膜中の Al 含有率と  $\alpha$ -アルミナ粉末含有量と水溶液中の濃度の関係. (Sulfamate 浴, 40 °C, 浴撹はん 200 min<sup>-1</sup>, pH=5)

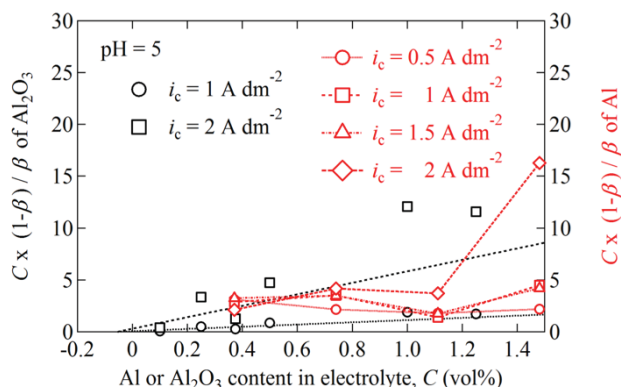


Fig. 7 Ni との複合電析膜中の Al および  $\alpha$ -アルミナ粉末の含有率測定値から作成した Guglielmi のプロット<sup>11)</sup>. (Sulfamate 浴, 40 °C, 浴撹はん 200 min<sup>-1</sup>, pH=5)

### 3.3 アニール処理による Ni-Al 金属間化合物の生成

Fig. 8 と Fig. 9 は Sulfamate 浴を用い, SUS304 ステン

レス鋼上に 10  $\mu$ m 複合めっきを行った試料を Ar-8 vol% H<sub>2</sub> 中 800 °C および 1000 °C において 3 および 70 hr アニール処理した試料の断面マイクロ組織および断面方向元素分析結果を示す. なお, これまでに示したように, 複合めっき膜の組成は大きくばらついていたため, この実験はおよそ Al 含有率が 25 at% であった試料を選択して実施した.

Figs. 8, 9 の 0 h はアニール処理前の断面観察・分析結果である. 複合めっきの厚さは約 10  $\mu$ m でありほぼ計画どおりであった. 下に示した line 1 に見られる黒い斑点は Al 粒子であり, 均一にみえる line 2 は膜全体にわたって Ni が検出された. また, めっき膜とステンレス鋼の界面で組成は大きく異なっており, 両相での相互拡散はおこっていないことが確認された. 800 °C で 3 h アニールした後も Al 粒子がほぼそのままの組成で検出され (line 1), line 2 は Ni だけを含んでいた.

次に, 3 hr のアニールによって, 写真の中心部に Fe, Ni, Cr には濃度勾配が見られた. これはステンレス鋼と複合めっき膜の間に相互拡散が起こったことを示している. さらにアニールを 70 hr とすると, アニール前に見られた大きな Al 粒子は小さくなるとともに, Al は複合めっき膜全体にわたって分布していることがわかった (line 1, 2). この結果, Ni と Al の両方を含む膜が生成したと考えられるが, この層には生地から Fe が拡散して分布するとともに, Al 含有量は極めて低くなっていた. これは Al がステンレス生地に向かって拡散したためと考えられる.

アニール温度が 1000 °C になると (Fig. 9), Fig. 8 に見られたような複合めっき膜中の Al 濃縮部はみられず, Al は均一に分布していることがわかった. しかし Al の含有量は更に低くなり, アニール処理によって Ni<sub>3</sub>Al は確かに生成したものの, Ni-Al 粒子間の相互拡散ばかりか複合めっき膜とステンレス生地との間の相互拡散が進んだ結果, 複合めっき膜中の Ni<sub>3</sub>Al 分率が低下した.

以上の結果から, Ni-Al 複合めっきと還元雰囲気中 1000 °C でのアニール処理によって Ni<sub>3</sub>Al 金属間化合物を作成することが可能であることがわかったが, 完全な Ni<sub>3</sub>Al 金属間化合物層形成のためには生地であるステンレス鋼と複合めっき膜の間の相互拡散を防止する拡散バリア層を中間に生成することが今後の課題である.

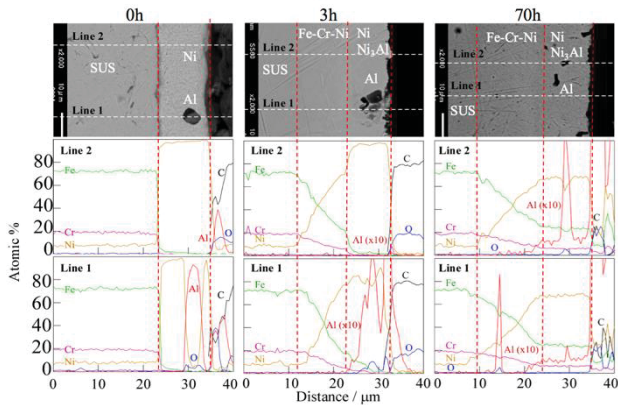


Fig. 8 約25 at%のAlを含有するNi-Al複合電析膜をAr-8 vol% H<sub>2</sub>中800°Cにおいて3および70 hrアニール処理した試料の断面マイクロ組織および断面方向元素分析結果。(Sulfamate 浴, 40°C, 浴撈はん 200 min<sup>-1</sup>, pH=5)

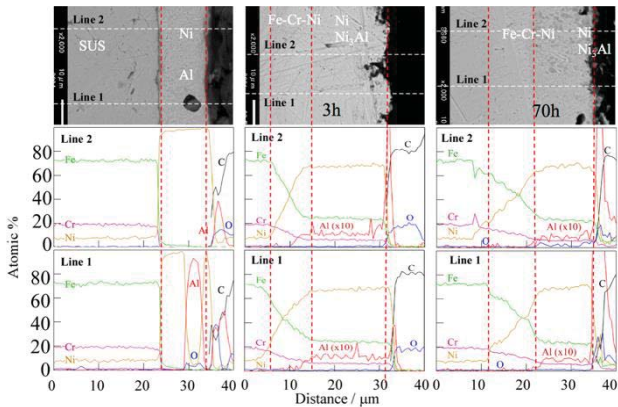


Fig. 9 約25 at%のAlを含有するNi-Al複合電析膜をAr-8 vol% H<sub>2</sub>中1000°Cにおいて3および70 hrアニール処理した試料の断面マイクロ組織および断面方向元素分析結果。(Sulfamate 浴, 40°C, 浴撈はん 200 min<sup>-1</sup>, pH=5)

#### 4 まとめ

Ni<sub>3</sub>Al 金属間化合物膜の生成を目的として、Al 粉末を用いた Ni-Al 複合めっきとそれにつづくアニール処理実験を行った結果、以下の結論を得た。

- (1) Ni<sub>3</sub>Al の組成に相当する Al を 25 at% 含有する複合めっき膜を得るための、Al 粉末表面処理条件、複合めっき条件を見出した。
- (2) Ni-Al 複合めっきが Guglielmi のメカニズムに従うことを見出した。
- (3) 還元雰囲気中で Ni-Al 複合めっき膜をアニール処理

することにより、Ni<sub>3</sub>Al 金属間化合物膜が作成可能であることを見出した。

一方、Ni-Al 複合めっき膜の組成のばらつきが大きいことが問題として明らかになり、その一因として Al 粉末表面の酸化膜が薄く、あるいは無定形であることが考えられた。今後複合めっきに用いる Al 粉末表面の酸化処理の最適化を行う必要がある。また、ステンレス生地と複合めっき膜の間での相互拡散を防止するためには、中間に拡散防止膜を生成する必要があることがわかり、さらに技術開発を進める必要がある。

#### 文献

- (1) 小林由則, 安藤喜昌, 加藤達雄, 西浦雅則, 富田和夫, 眞竹徳久, 三菱重工技報, 48, 2001, p16-21.
- (2) 佐藤彰洋, 松永康夫, 吉澤廣喜, 高橋耕雲, 森信義, 石川島播磨技報, 47, 2007, p1-6.
- (3) Y. Wu, S. W. Li, G. M. Song, Y. M. Wang, T. Narita, *Oxid. Metals*, 74, 2010, p283-303.
- (4) 林秀考, 表面技術, 57, 2006, p466-470.
- (5) R. Bazzard, P. J. Boden, *Trans. Inst. Metal Finish.*, 50, 1972, p63-69.
- (6) H. Liu, W. Chen, *Surf. Coating. Tech.*, 191, 2005, p341-350.
- (7) H. Liu, W. Chen, *Intermetallics*, 13, 2005, p805-817.
- (8) H. Liu, W. Chen, *Corros. Sci.*, 49, 2007, p3453-3478.
- (9) A. Hoverstad, L. J. J. Janssen, in *Modern Aspect of Electrochemistry No. 38*, 2005, p.475.
- (10) M. Poulbaix, in *Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions (NACE)*, 1974, p. 138.
- (11) N. Guglielmi, *J. Electrochem. Soc.*, 119, 1972, p1009-1012.



## 【平成 26 年度 プレ共同研究成果】



# 音響計測によるコンクリート壁面高速診断システムの開発

田中 秀典\*1, 小針 憲司\*1, 板倉 賢一\*2, 山崎 剛嗣\*3

## 1 はじめに

我が国の高度経済成長期に建設されたコンクリート構造物は老朽化が進み、各地で事故が発生している。こうした耐用年数を過ぎたコンクリート構造物の健全性診断として、様々な検査方法が提案され実施されている<sup>(1)</sup>。非破壊検査方法として、打音、音波、振動、電磁波等を用いる方法が提案されているが、それぞれ欠陥検出精度やコスト、検査時間などに問題を残している。そのため現状では手軽な診断法として、打音検査法が主流になっている。打音検査は、熟練した検査員がコンクリート壁面をハンマーで打撃し、反響音を耳で聞いて欠陥の有無を判断する。検査員に代わって、打音を自動的に分析し、定量的かつ客観的に診断するシステムの開発研究が進められている<sup>(2)~(5)</sup>。

本研究では、コンクリート壁面内部の欠陥を高精度かつ高速に検出し、壁面展開図にマッピングするハードウェアとソフトウェア・システムの開発を目指している。本報告では、都合によりシステムの詳細を報告することはできないが、システム開発のために実施した基礎実験の結果を報告する。

基礎実験では、コンクリート壁面内部に欠陥に相当する空隙のあるブロックと健全なブロックを供試体として用意し、固体粒子を衝突させた時の衝突音を計測、分析して欠陥検出の可能性や条件を探った。その際特に、実験室内の残響音が衝突音に与える影響についても検討した。以下には、この基礎実験の結果について報告する。

## 2 残響時間計測

### 2.1 実験概要

コンクリートブロック供試体への固体粒子衝突実験は、幅と奥行きが3.6m、高さ2.5mの室内で実施した。そこで、この部屋の残響時間（定常音を室内に放射して平衡状態に達した後音を停止し、その後音響エネルギー密度が音源停止直前のエネルギー密度に比べて-60dBになるまでの時間[s]）を計測した。計測には、01dB社製のプリアンプ内蔵無指向性マイクロフォン（40AE、感度：50mV/Pa、応答周波数大域：6.0-20kHz）と、信号コントローラ（Symphonic、最大サンプリング周波数：51.2kHz、分解能：18ビット）、多面体スピーカを用いた。図1に計測状況の概要と、図2にスピーカとマイクロフォンを示す。

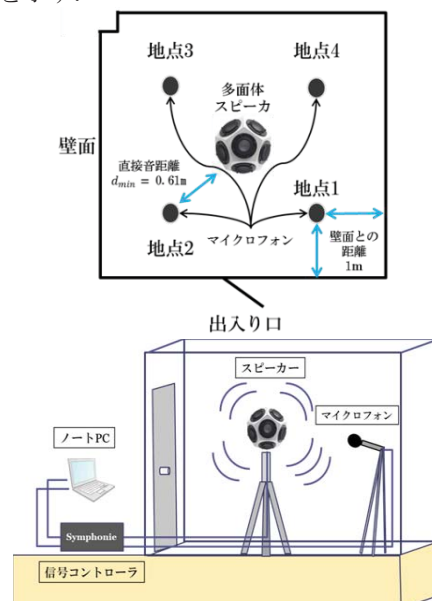


図1 計測概要

(上図：平面配置、下図：計測システム)

\*1：株式会社メイセイ・エンジニアリング

\*2：室蘭工業大学 しくみ情報系領域

\*3：室蘭工業大学 工学部 情報電子工学系学科



図 2 スピーカ（室内中央）とマイクロフォン



図 3 実験室の吸音加工

計測にはノイズ断続法を用い<sup>6)</sup>、ノイズとしてはホワイトノイズとピンクノイズを用いた。スタッキング回数は10回で、3回繰り返して平均を求めた。

次に、実験室の壁面に幅10cm、長さ250cm、厚さ5cmのダウ化工株式会社製のスタイロフォーム(A種押出法ポリスチレンフォーム保温板)を5cm間隔で貼り付けて(図3)、同様の計測を行った。

## 2.2 残響時間計測結果

図4に、ホワイトノイズを用いた場合の、中心周波数に対する残響時間を示す。図1に示したように、マイクロフォンの位置を4箇所設定しており、上部の折れ線群が残響音処理前(図2)で、下部が残響音処理後(図3)である。

図4より、マイクロフォンの配置による残響時間の差は無い事がわかる。また、吸音効果が確認でき、特に高周波数領域で効果が高いことがわかった。ピンクノイズを用いた場合も、同様の傾向を確認した。

## 3 コンクリートブロック打撃実験

### 3.1 コンクリートブロック供試体

以上の2種類の室内環境下でコンクリートブロック

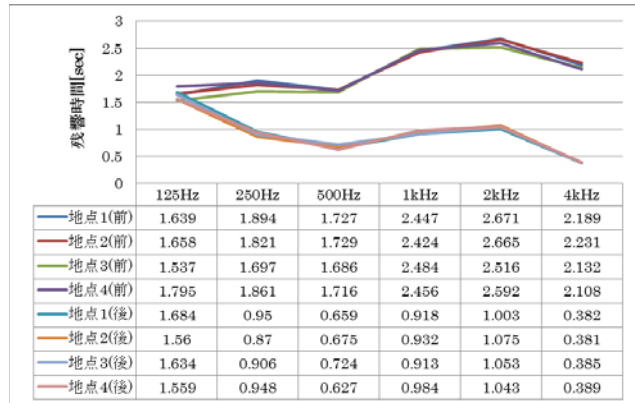


図 4 残響時間計測結果（ホワイトノイズ）

打撃試験を実施した。使用した供試体は、2種類である。いずれも40×40×30cmの大きさで、水、セメント、粗骨材(砂)の配合比が1:1.4:6.1であるが、一方には、欠陥を想定して供試体内部に発泡スチロールを埋め込んでいる。図5は、その欠陥の大きさ(直径200mm,厚さ5mmの円盤)と位置(表面から深さ30mm)を表している。もう一方は、欠陥の無い健全な供試体である。

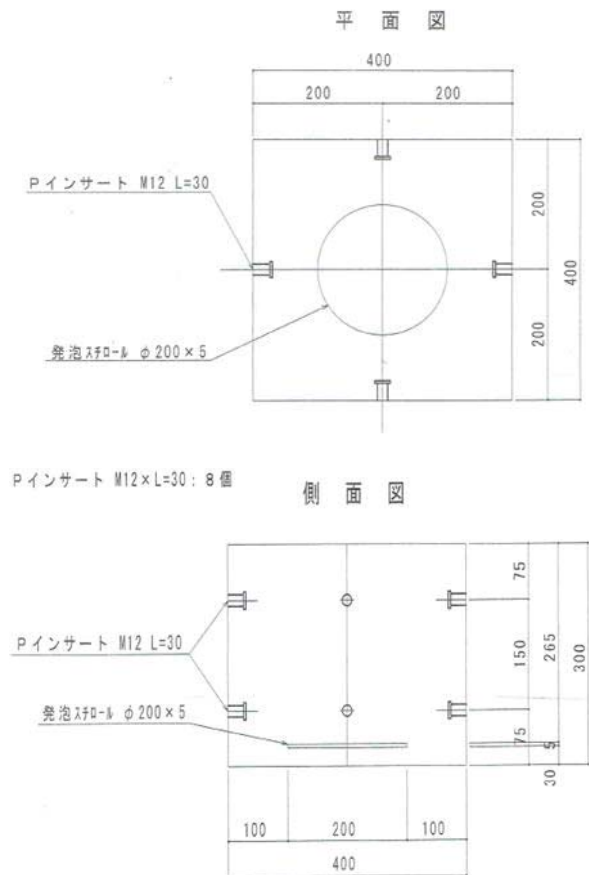


図 5 欠陥を有する供試体  
(上：側面図，下：平面図)



### 3.2 実験手順

残響時間の異なる環境下で、固体粒子を健全なコンクリート供試体と欠陥のある供試体に衝突させ、衝突音を計測する実験を行った。実験条件としては、重量の異なる三つのセラミックス球と、衝突位置からマイクロフォンまでの距離を3段階に変え、更に衝突粒子の数を4段階で増やす実験を行った。これらの組み合わせによる衝突音の違いを、音圧の周波数領域で比較検討した。使用したプリアンプ内蔵型マイクロフォンと衝突音記録装置および分析ソフトウェアは、残響時間測定に用いたものと同じである。

図6は、この実験の模式図である。供試体は、45度に傾けている。セラミックス球は、直径2mm(0.01g)と5mm(0.25g)、10mm(2.1g)の3種である。これを、供試体の中央に、1mの高さから自由落下させた。衝突位置からマイクロフォンまでの距離は、1mを基本として、0.5m、1.5mで行い、同時に複数粒子を衝突させる実験では、1個、5個、10個、20個を衝突させた。表1に示す組み合わせで実験を行った。それぞれ、10回の計測を行っている。

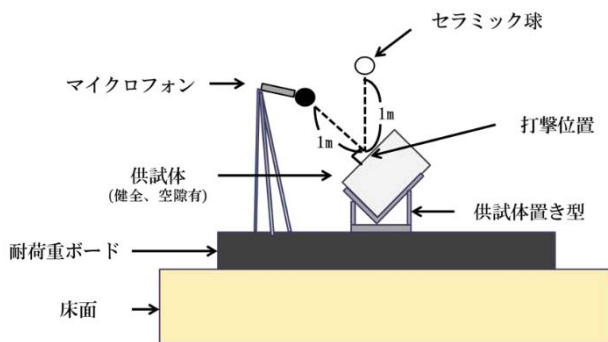


図6 粒子衝突実験の模式図

表1 実験条件の組み合わせ  
(球の大きさを変えた実験)

		球の 個数	球の直 径(mm)	マイク 距離(m)
残響処理前	健全な供試体	1	2	1
		1	5	1
		1	10	1
	欠陥供試体	1	2	1
		1	5	1
		1	10	1
残響処理後	健全な供試体	1	2	1
		1	5	1
		1	10	1
	欠陥供試体	1	2	1
		1	5	1
		1	10	1

(マイクロフォンの距離を変えた実験)

		球の 個数	球の直 径(mm)	マイク 距離(m)
残響処理前	健全な供試体	1	2	0.5
		1	5	1
		1	10	1.5
	欠陥供試体	1	2	0.5
		1	5	1
		1	10	1.5
残響処理後	健全な供試体	1	2	0.5
		1	5	1
		1	10	1.5
	欠陥供試体	1	2	0.5
		1	5	1
		1	10	1.5

(球の個数を変えた実験)

		球の 個数	球の直 径(mm)	マイク 距離(m)
残響処理前	健全な供試体	1	5	1
		5	5	1
		10	5	1
		20	5	1
		1	10	1
		5	10	1
		10	10	1
		20	10	1
	欠陥供試体	1	5	1
		5	5	1
		10	5	1
		20	5	1
残響処理後	健全な供試体	1	5	1
		5	5	1
		10	5	1
		20	5	1
		1	10	1
		5	10	1
		10	10	1
		20	10	1
	欠陥供試体	1	5	1
		5	5	1
		10	5	1
		20	5	1

### 3.3 実験結果

#### 3.3.1 残響時間の影響

図 4 に示した二通りの残響時間環境下で、コンクリート供試体への粒子衝突実験を行った。図 7 は、直径 5mm のセラミックス球を 1m の高さから自由落下により衝突させたときの、音圧スペクトルである。上が残響時間が長い環境下での結果であり、下図が残響時間が短くなった環境下での結果である。それぞれの縦軸最大値は 0.0018Pa と 0.001Pa であり、横軸は 15kHz まで示してある。青線は健全な供試体の場合であり、赤線は欠陥を有する供試体の結果である。

図 7 の結果から、健全な供試体の場合も、欠陥がある供試体の場合も、部屋の残響時間の影響を受けていないことがわかる。健全な供試体の場合には、1kHz 以下を除くと顕著なピークが見られないが、欠陥を有する供試体では 2kHz から 6kHz の間に幾つかの際立ったピークが見られた。以上の傾向は、他のいずれの実験においても共通した結果であった。

#### 3.3.2 球の大きさによる影響

いずれの実験でも残響時間の影響が、音圧スペクトルに現れなかったため、以下には、残響時間が短い環

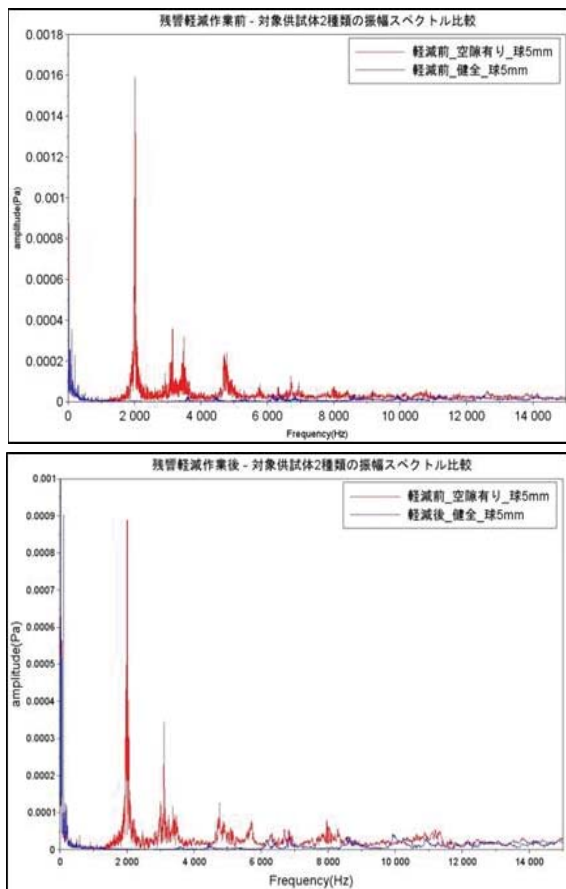


図 7 残響時間が長い環境下(上)と短い環境下、下での衝突音の音圧スペクトルの代表例)

境下での実験結果を示す。

図 8 は、球の直径が異なる場合、すなわち重量が異なる場合の衝突音音圧スペクトルの一例である。衝突位置とマイクロフォンまでの距離は、1m である。上図が健全な供試体の場合で、下図が欠陥のある供試体の結果である。ただし、縦軸の最大値が上図では  $4.5 \times 10^{-4}$  Pa であり、下図では 0.004 Pa である。これより、粒子の重量(質量)が増すと音圧レベル(一般的には、基準圧力に対する比[dB]で表される)が高くなるものの、健全な供試体では全体のレベルが低いことがわかる。また、欠陥の有る供試体の場合には、健全な供試体には見られない特徴的な周波数ピークが 2kHz と 3kHz において見られた。

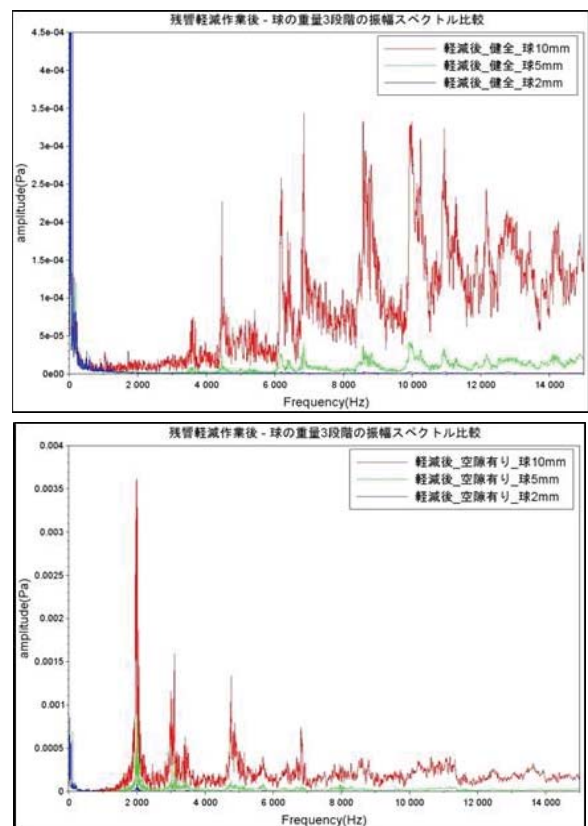


図 8 衝突粒子の大きさを変えた場合のスペク  
(上：健全な供試体、下：欠陥のある供試体)

次に、衝突粒子の大きさを変えたすべての実験結果について、音圧スペクトルの総和(1kHz から 25.6kHz の帯域)を求め、実験条件の違いによる比較を行った。

図 9 は、衝突粒子の重量と音圧スペクトルの総和を、残響時間軽減処理の前後および欠陥の有無について調べた結果である。音圧スペクトルの総和は、10 回の実験の平均値である。健全な供試体の場合には、残響処理の前後で大きな違いは見られず、グラフが重なっている。この図より、いずれも粒子重量の増加と共に音

音圧スペクトルの総和が直線的に増加していることがわかる。また、重量が増すと、健全な供試体と欠陥のある供試体の差は大きくなる傾向がある。

図 8 と 9 の結果から、粒子の衝突エネルギーを増すと、当然ではあるが、衝突音も大きくなり、欠陥に対応した卓越周波数が強調されることが確認できた。

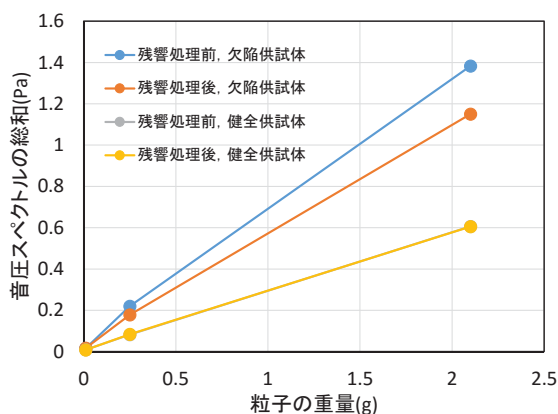


図 9 衝突粒子の重量と音圧スペクトルの総和の関係

### 3.3.3 マイクロフォン位置の影響

図 10 は、直径 5mm の球を 1m の高さから供試体に衝突させ、衝突位置から 0.5m, 1m, 1.5m にマイクロフォンを設置して記録した衝突音の音圧スペクトルである。上図が健全な供試体の場合で、下図が欠陥のある供試体の結果である。ただし、縦軸の最大値が上図では  $5.5 \times 10^{-4} \text{Pa}$  であり、下図では  $0.004 \text{Pa}$  である。いずれも距離に応じて減衰しており、特に高周波領域での減衰が大きいことがわかる。この傾向は、直径 2mm の粒子でも、10mm の粒子でも同様であった。

図 11 は、図 9 と同様に、音圧スペクトルの総和とマイクロフォンの位置との関係を残響時間軽減処理の前後および欠陥の有無について調べた結果である。直径が 5mm の粒子の場合である。いずれも衝突位置とマイクロフォンとの距離が増すに従い、音圧が減衰していることがわかる。マイクロフォン位置が 3 点しかないのであるが、距離のべき乗で減衰していると見られる<sup>7)</sup>。この減衰傾向は、欠陥供試体の卓越周波数である 2kHz と 3kHz に限っても同様であった。

### 3.3.4 衝突粒子数の影響

図 12 は、直径 5mm の粒子を 1 個、5 個、10 個、20 個、それぞれほぼ同時に 1m の距離から供試体の中央部に衝突させたときの音圧スペクトルである。上図が健全な供試体の結果であり、下図が欠陥供試体の結果である。ただし、縦軸の最大値が上図では  $2.0 \times 10^{-4} \text{Pa}$  であり、下図では  $0.0032 \text{Pa}$  である。これらの結果より、衝突粒子が 1 個の場合のスペクトルが、粒子を増すと

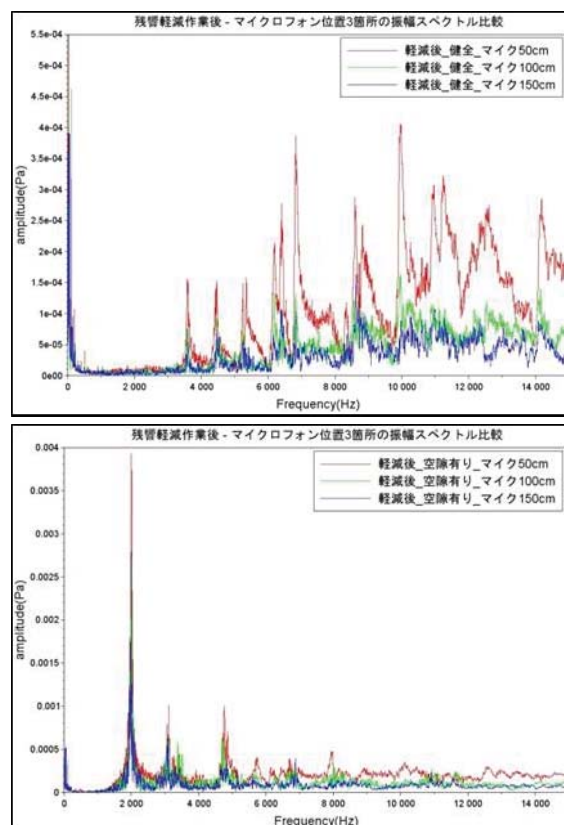


図 10 マイク距離を変えた場合のスペクトル (上：健全な供試体、下：欠陥のある供試体)

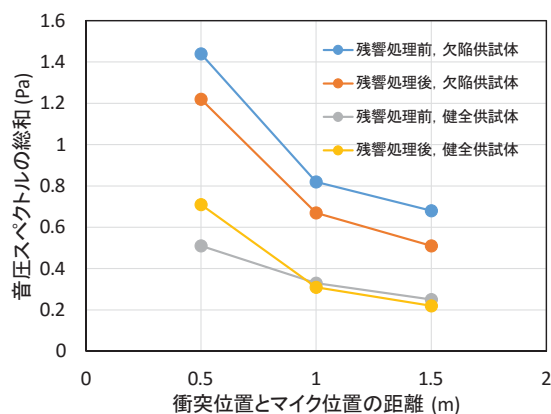


図 11 音圧スペクトルの総和の距離減数(上：健全な供試体、下：欠陥のある供試体)

そのままの形状でレベルアップしていることがわかる。すなわち、欠陥供試体の卓越周波数においても、粒子数が増すとピークが高くなっている。この傾向は、粒子の直径が 10mm の場合でも同様であった。

次に、衝突粒子数と音圧スペクトルの総和の関係について調べた。図 13 は、粒子の直径が 5mm の場合の結果である。バラツキはあるものの、衝突粒子数が増すと音圧も直線的に増加している。すなわち、欠陥供

試体の場合は、粒子による衝突エネルギーにほぼ比例して、卓越周波数を維持したまま衝突音の音圧が上昇すると考えられる。

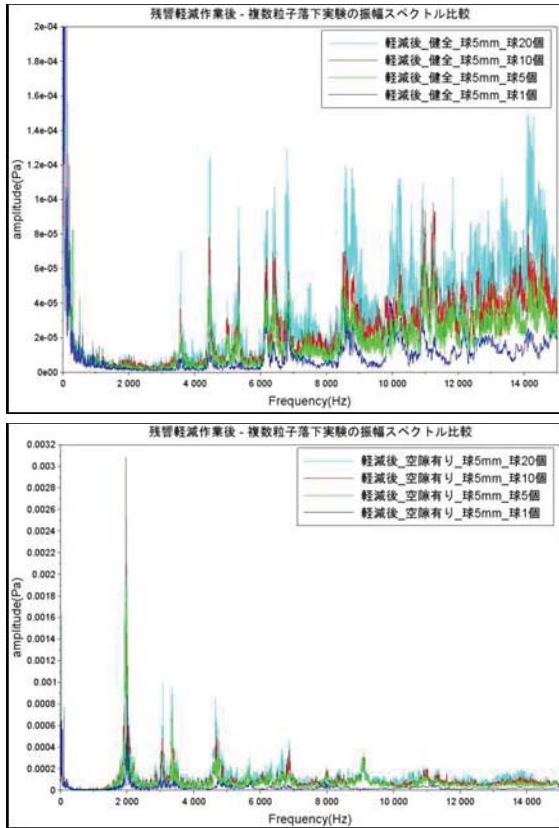


図12 複数粒子を衝突させた場合のスペクトル  
(上：健全な供試体，下：欠陥のある供試体)

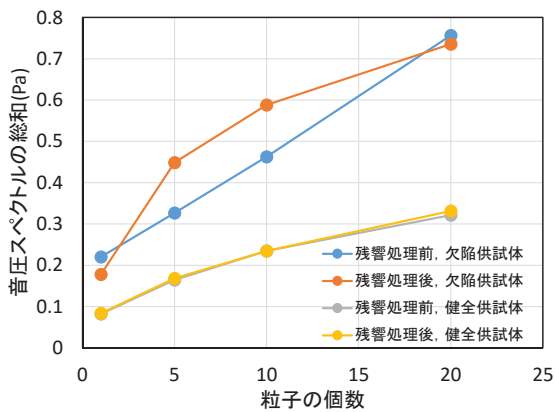


図13 衝突粒子数と音圧スペクトルの総和の関係  
(上：健全な供試体，下：欠陥のある供試体)

#### 4 音響計測による壁面診断の可能性

本実験で用いた欠陥供試体の場合、粒子を衝突させ

ると粒子の大きさや個数、残響時間環境に依存せず、健全な供試体よりも常に音圧レベルが高く、健全な供試体では見られない約2kHzと3kHzのピークが見られた。この卓越周波数の原因について、円盤のたわみ振動を仮定して検討した。

図5に示した供試体において、円盤型のコンクリート部分はその下部の空隙の影響でたわみ振動をすると仮定する。端部は単純支持とする。この場合の円盤のたわみ振動による周波数 $f_f$ は、以下の式で近似できる<sup>(8)</sup>。

$$f_f = \frac{K_n}{2\pi} \sqrt{\frac{Ed^2}{12(1-\nu^2)\rho a^4}}$$

ここで、 $K_n$ は振動のモードによって異なる値を持つ係数で、最も低い周波数は $n=1$ 、 $K_n=4.99$ である。 $E$ はヤング率、 $\nu$ はポアソン比、 $\rho$ はコンクリートの密度である。 $a$ は円盤の半径、 $d$ は円盤の厚さである。本実験で使用した供試体の空隙の直径は $2a=200\text{mm}$ 、厚さは $d=30\text{mm}$ である。また、 $E=1.9 \times 10^{10} \sim 3.6 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ 、 $\nu=0.15 \sim 0.2$ 、 $\rho=2177 \text{ kg/m}^3$ とすると、

$$f_f = 2055\text{Hz} \sim 2855\text{Hz}$$

が得られる。欠陥供試体に見られた卓越周波数は、このたわみ振動によると考えられる。その場合、卓越周波数は円盤の厚さ、すなわちコンクリート壁面奥部の空隙までの距離に伴い変動し、円盤の半径、すなわち欠陥の大きさの二乗に反比例して変化すると考えられる。

以上の結果から、コンクリート壁面に固体粒子を衝突させ、衝突音の卓越周波数に注目することで、奥部の欠陥の有無を推定できると考える。また、今後実験で確かめる必要があるが、欠陥モデルを仮定すれば、卓越周波数から欠陥の規模等も推定できる可能性がある。

#### 5 おわりに

実験室内の残響音特性を調べ、改善を図った上で、二つのコンクリートブロックを用いたセラミックス粒子の衝突実験を行った。内部に空隙のあるブロックと健全なブロックについて、セラミックス球を衝突させ、衝突音の解析を行った結果、以下のことがわかった。

- 実験室内の残響音レベルを改善し、ほぼ様な音響環境下で実験を行った。
- 衝突音の卓越周波数は、ブロック内に欠陥がある場合と無い場合で大きく異なった。
- 欠陥がある場合の卓越周波数は、欠陥部分の円盤たわみ振動から得られる周波数とほぼ一致した。

従って、衝突音の卓越周波数に着目すると、欠陥の有無を推定できると考える。

- 衝突させるセラミックス球の質量はその卓越周波数には影響せず、質量が増すと音圧レベルが高くなることを確認した。
- 今回使用した音響計測システムでは、衝突箇所からマイクロフォンを遠ざけると距離減衰はあるものの、卓越周波数には変化が見られなかった。
- 衝突させるセラミックス球の個数を増しても、卓越周波数には影響せず、個数に応じて音圧レベルが高くなることがわかった。

以上のことより、対象コンクリート壁面に固体粒子を衝突させ、その衝突音を計測、分析することで、コンクリート内部の欠陥の有無を推定できる可能性を見出した。その際、高い衝突音レベルを維持する方法として、粒子の質量を増すだけでなく、複数の粒子をほぼ同時に衝突させることによっても推定可能であることがわかった。今後は、コンクリート内の欠陥の大きさ、深さ等を変えて同様な実験を行うと共に、雑音に強い音響分析ソフトウェアの開発も進める予定である。

## 文 献

- 1) 魚本健人：『コンクリート構造物の非破壊検査』，森北出版，1990
- 2) 金森正樹，飯坂武男，菊川浩治，梅原秀哲：コンクリートの打音による健全性の評価について，コンクリート工学年次論文集，Vol.23, No1, 2001
- 3) 浅野雅則，鎌田敏郎，六郷恵哲，児玉一郎：コンクリートの欠陥評価における打撃音波形パラメータの役割，コンクリート工学年次論文集，Vol.25, No.1, 2003
- 4) 三好茜，園田佳巨，川端健太：打音特性を用いた劣化診断に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.31, No.1, 2009
- 5) 山田裕志，川端健太，園田佳巨：コンクリート構造物の打音検査に関する時間 - 周波数解析を用いた基礎的研究，土木学会西部支部研究発表会，2010.3
- 6) 橋秀雄，矢野博夫：『環境騒音・建築音響の推定』，コロナ社，2004
- 7) 鈴木昭次，西村正治，薙本信哉，御法川学：『機械音響工学』，コロナ社，2004
- 8) 近藤恭平：『振動論』，培風館，1999

# 小型無人ヘリコプターを用いた空中電磁探査の実用化

後藤 芳彦\*1, 城森 明\*2

## 1 はじめに

無人ヘリコプターは、近年多くの機関で導入が進んでおり、これを用いた物理探査や機械計測は将来的に有望な技術であると考えられる。特に、人が近づくとできない火山地域などでは、無人ヘリコプターは非常に有効であり、無人ヘリコプターを用いた物理探査は、近い将来ごく一般的に行われると考えられる。最近では、4~8個のローターをもつ小型のマルチローターヘリコプターが普及しつつあり、これらのヘリ機材を用いた探査の有望性は極めて高い。

しかし、無人ヘリコプターに関する技術的な問題点は多く、未解決の問題も多い。例えば、無人ヘリコプターは有人ヘリコプターに比べて、機材の積載能力が非常に低く、気流の変化等にも弱い。また、無人ヘリコプターは飛行時間が極めて短いため、広範囲の測定を行うことも困難である。このため、マスメディアに数多く取り上げられているにもかかわらず、無人ヘリコプターで行われた探査例はまだ少ない。有人ヘリコプターで行っていた探査を、無人ヘリコプターで行うためには、探査機械の軽量化や探査精度の検証等、多くの技術的な問題を解決する必要がある。無人ヘリコプターによる探査の実用化を計るためには、数多くの飛行実験を繰り返す必要がある。

今回我々は、小型無人ヘリコプターを使用した空中物理探査の実用化を目指すため、北海道内で無人ヘリコプターの飛行実験を行った。特に、人が近づくとできない火山地域における物理計測の工学的な実用化への道を探るため、北海道南西部の樽前山山頂部でGPSを搭載した無人ヘリコプター飛行を行い、樽前山溶

岩ドームの地形計測を行った。樽前山溶岩ドームは、有視界飛行が可能であること、植生に覆われていないこと、飛行範囲が1キロメートル四方程度であることから、今回の飛行実験に適している。また、得られた成果を防災の基礎データとして用いることができる利点がある。

本研究の最終目標は、GPS小型無人ヘリコプターによる空中電磁探査であるが、今回の実験では、樽前山山頂部におけるGPS小型無人ヘリコプターの飛行実験、樽前山溶岩ドームのデジタル地形データの取得、溶岩ドームの3次元デジタルモデルの作成、および溶岩ドームの3次元デジタル地図の作成までを行った。

## 2 探査の概要

### 2.1 調査地域

樽前山は支笏カルデラの南東壁に生じた安山岩～デイサイトの火山であり、約9000年前に火山活動を開始した。これまでの活動は約1000年以上の休止期を挟んで3つの活動期に区分される。第1活動期は約9000年前に始まり、2回のプリニー式噴火により大量の火砕物を噴出した。この噴火では、小規模な火砕流も生じた。



図1 樽前山溶岩ドーム

\*1: 室蘭工業大学 暮らし環境系領域

\*2: 有限会社ネオサイエンス

その後、約 6500 年の休止期を経て、第 2 活動期が開始した。第 2 活動期では、約 2500 年前から 3 回のプリニー式噴火が短い休止間隔で発生し、火砕物や火砕流、火砕サージが噴出した。第 3 活動期は江戸時代から現在までの有史時代の活動である。1667 年と 1739 年には規模の大きなプリニー式噴火が発生して大量の火砕物を噴出した。1739 年の噴火では、現在の新千歳空港の位置に軽石が 1m もの厚さで堆積した。その後の 1909 年（明治 42 年）噴火では、現在山頂に見られる溶岩ドームを形成した。今回、GPS 小型無人ヘリコプターの飛行実験の対象としたのは、この 1909 年に形成された溶岩ドームである。樽前山では、19 世紀以降は大規模噴火が発生していないが、70 回以上の小規模な噴火が記録されている。

樽前山の溶岩ドームは、山頂部が平らなパンケーキ型をなし、直径は約 450m である。周囲の平坦面からの比高は、約 120m である（図 1）。大井上（1909）によれば、樽前山溶岩ドームの形成は、1909 年 4 月 17 日から 4 月 19 日の間の 48 時間以内に形成されたい。溶岩ドームは塊状の溶岩からなり、高温の噴気地帯が点在する。特に溶岩ドームの南東側の裾にある A 火口と呼ばれる地点では、500°C 以上の温度が記録されている。この他、B 火口、C 火口、D 火口、E 火口、F 火口とよばれる火口がドーム上に存在し、噴気活動を続けている。溶岩ドームの周囲には、溶岩のブロックが点在する。

## 2.2 計測機械

GPS 小型無人ヘリコプターの飛行実験は、ネオサイエンス社が保有する小型のマルチローターヘリコプターを用いて行った（図 2）。このヘリコプターは中心から突き出た 8 本のアームと、それに連結した 8 個のローターをもち、バッテリー駆動で飛行する。GPS を搭載



図 2 探査用無人マルチコプター

しており、パーソナルコンピュータによる遠隔制御が可能である。また、飛行ルートを記録し、定められたルートを飛行することも可能である。一般に小型無人ヘリコプターは、標高の高い場所での飛行が困難であるが、今回の高度実験では、標高 1000m 程度では問題なく飛行することが確認できた。データ取得用のシステムとして、可視画像（静止画）計測用に、デジタルカメラ Lumix DMC-GH3 を搭載した。また、動画用として Lightbride DMC-GH3 を搭載した。

計測は、樽前山溶岩ドームとその周囲を含む、南北 1100m、東西 1100m の地域で行った。計測により得られたデジタル画像データから、3D モデリングソフトウェアを用いて、画像を 3 次元化し、3D デジタル地形モデルを作成した（図 3）。この 3D 地形モデルは、コンピュータ上で 3 次元地形を認識するのに適しており、様々な角度から地形モデルを表示することができる。今回の 3D 地形モデルから、溶岩ドームの形成時に形成された様々な微細組織や小火口を認識することができた。ただし、このデジタル 3D 地形モデルは、平面図としての地形図を作成するには適していない。このため、等高線を用いた高解像度地形図も作成した（図 4）。この高解像度地形図は、1m 間隔の等高線で描かれており、従来の地形図よりも高い解像度をもつ。



図 3 樽前山溶岩ドームの 3D モデル

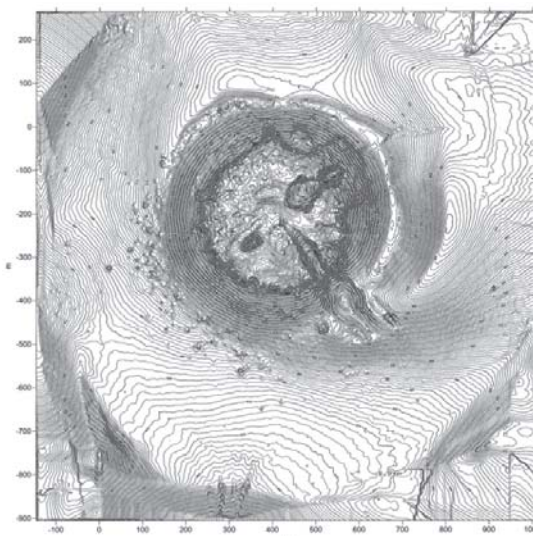


図 4 樽前山溶岩ドームのデジタル地形図

### 3 結果

GPS 小型無人ヘリコプターを用いた探査により,樽前山溶岩ドームの 3D モデリングとデジタル地形図の作成を行うことができた. 得られた 3D 地形モデルと地形図は, 極めて高い解像度をもち, 電磁探査等の空中物理探査を行う時のデジタル地形データとして使用することができることが判明した. また, この 3D デジタル地形モデルとデジタル地形図は, 単体でも防災に役立つ基礎データとして使用することができる.

今回得られた地形データからは, 北西-南東方向に伸長した小火口群, 溶岩ドーム北東部の溶岩ローブ, 北東-南西方向に伸長した小火口群などの微地形が確認できた. これらの表面組織は, 溶岩ドームが成長する過程で形成されたものである. 北西-南東方向と北東-南西方向に伸長した小火口群は, 太平洋プレートの沈み込みに伴う広域的な応力場を反映したものと考えられ, 今後詳細な組織解析を行う予定である.

今回の計測により, 無人ヘリコプターを使用した空中探査は, 非常に有用であることが判明した. 樽前山溶岩ドームは, 高温の噴気地帯が点在するため, 現在立ち入り禁止区域となっており, 通常の野外調査は行うことができない. GPS 小型無人ヘリコプターによる空中探査は, このような地域でも探査を行うことが可能であり, 迅速にデータ収集を行うことができる. 以上の視点から無人ヘリコプターによる探査は, 近い将来実用化し, 火山防災データ等の収集に広く使われると考えられる.



# 特定のアミノ酸残基と反応する試薬の開発

庭山 聡美\*1, 黒野 定\*2

## 1 はじめに

プロテオミクスとはある特定の生理条件の下で発現された一連のタンパク質であるプロテオームを扱う研究分野である。このような概念では複数の異なった外的条件下で発現されたプロテオームを比較することにより生命現象を総括的に理解することが可能となる。プロテオミクスで最もさかんに行われている研究として、タンパク質の同定や、タンパク質の定量分析があり、後者では異なった外的条件の下で発現されたタンパク質の相対量を定量的にあらわすことが重要となる。これは例えば健康な細胞と疾病状態にある細胞のタンパク質の発現量を比較し、特定の病気の際に多く発現するタンパク質をバイオマーカー候補として同定すること等に応用できる。

特に安定同位体と質量分析の組み合わせによる定量分析法は、それまで報告されていた放射性同位体を用いる方法に比べて環境にも優しいため近年特に活発に研究されている領域である。

そこで我々は特定のアミノ酸に低分子量の有機化合物を反応させたものとその安定同位体ラベル体を質量分析法によって分析することによりタンパク質の定量法を開拓している。安定同位体でラベルされたものとラベルされていない修飾試薬は化学的に同一の反応性を示すため、質量分析におけるイオン化効率も同一であると予測し、サンプルのタンパク質とこれらの試薬を反応させた後、その対応するイオンピークの総面積の相対比を測ることでタンパク質の量の相対比がわかることになる。

## 2 実験

### 2.1 実験概略

我々は  $^{13}\text{C}$  や  $\text{D}$  などの安定同位体でラベルされたシステインの—SH 基の特異的修飾試薬を数種類合成し、これとの反応で得られたタンパク質サンプルと、対応する安定同位体でラベルされていない修飾試薬との反応で得られたサンプルを合わせてこれらの比を質量分析により分析するという方法でタンパク質やペプチドの定量分析を行ってきた (図 1)。

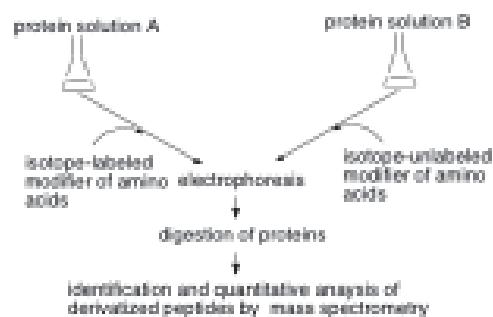


図 1 我々のペプチド、タンパク質の定量分析法概略

### 2.2 システイン修飾試薬

システインの sulfhydryl (—SH) 基の特異的修飾試薬としては *N*-ethylmaleimide や iodoacetamide のような市販の小さな有機分子は下の図 2 のように反応することが知られている。これらは疎水性も低く、—SH 基との反応性も高いことが知られているうえ合成も簡単であることから、これらの誘導体 iodoacetanilide (IAA), *N*-ethylmaleimide (NEM), *N*- $\beta$ -naphthyl-iodoacetamide (NBN) とその  $\text{D}$  または  $^{13}\text{C}$  ラベル体 (1-6) を合成した。

\*1: 室蘭工業大学 ぐらし環境系領域

\*2: 和光純薬株式会社

### 3 結果

まず我々はこの方法をペプチドを用いてテストした。システインを1つ含むペプチドを異なる量を含む水溶液を2種用意し、片方を同位体でラベルされていない修飾試薬 (1, 3, または 5), もう片方を同位体でラベルされている修飾試薬 (2, 4, または 6) と反応させた後、両者を混ぜてその量比を質量分析により定量した (図 4)。

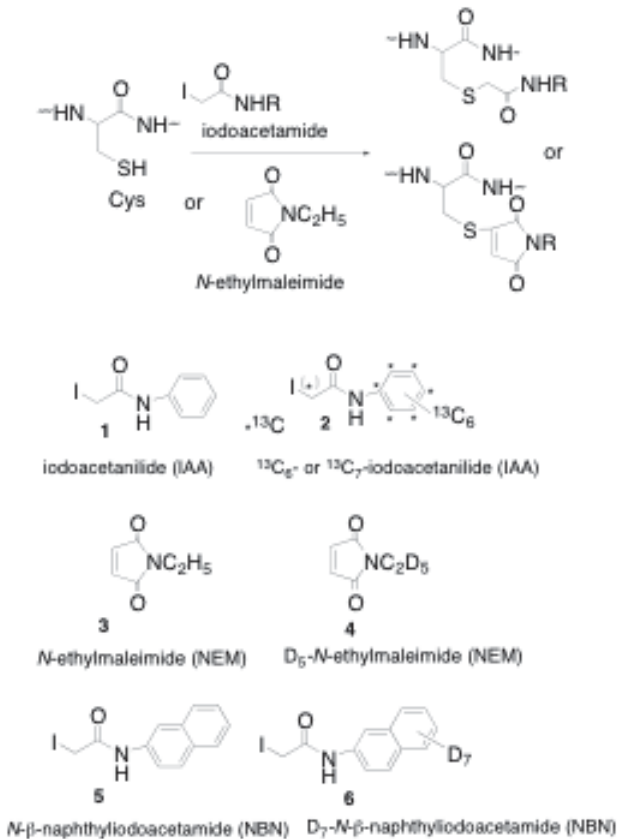


図 2 システインの特異的修飾試薬とその安定同位体標識体

これらの試薬の合成は図 3 のようにして行った。

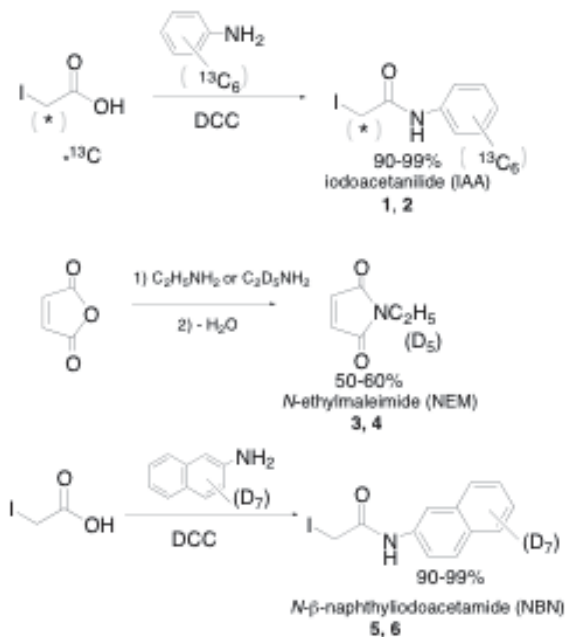


図 3 システインの特異的修飾試薬の合成

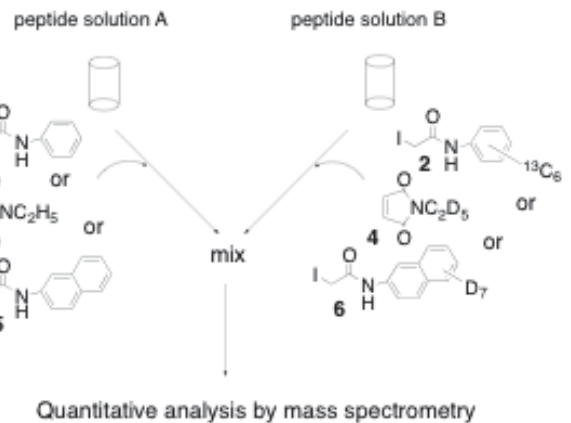


図 4 ペプチドの定量分析

それぞれのペプチドは自然界に存在する同位体のため一連のピークを示すが、その一連のピークの面積の総和の比をとることにより両者の総対比を求めた。その後横軸に理論比を、縦軸に観測比をとってグラフにプロットし、検量線を描いた。図 5 は IAA (1, 2) によるその検量線のグラフである。3 種のペプチドを用いて、いずれも理論比と観測比の間に非常に良い相関関係が見られている。

また我々はこの方法をハエの頭から抽出したタンパク質や乳頭分泌液などの臨床サンプルから得られたタンパク質の定量分析にも応用し、定量が可能である事を見いだしている。この際のタンパク質の分離精製には主として電気泳動法を用いたが、液体クロマトグラフィー(LC)法によっても可能である。また質量分析も MALDI と ESI のいずれでも可能である事を見いだしている。

これらの結果より、本法によりタンパク質やペプチドの定量分析が可能であることが示された。データベースサーチによりタンパク質の同定も可能であるため、本方法はプロテオミクスには強力なツールとなることが期待される。

## 5 謝 辞

タンパク質やペプチドの定量分析にあたり、大阪大学医学部の実験室の場所を提供していただいた。この場を借りて感謝申し上げます。

## 文 献

- 1) Kurono, S.; Kaneko, Y.; Matsuura, S.; Niwayama, S. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2015, 25, 1110-1116.

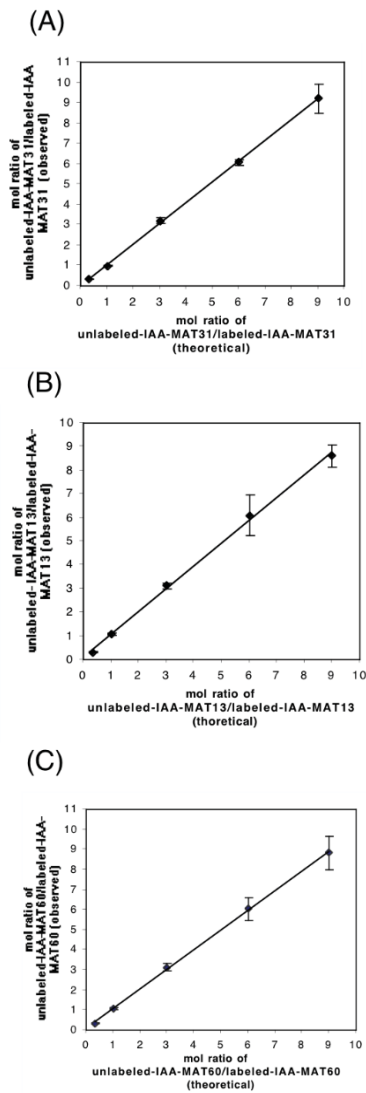


図 5 ペプチドの定量分析

## 4 おわりに

本方法では簡単な有機合成の手法により有機小分子とその安定同位体標識体を必要に応じて合成し、特別な機器を用いずにペプチドやタンパク質の定量分析が可能であるため、実用的な方法であると考えられる。さらにこのペプチドやタンパク質の相対的な定量法に加えて、一方のペプチドが既知量で、もう一方のペプチドが未知量である場合に、既知量と比較してそのペプチドの量を測定する、いわゆる絶対定量法にもこの方法が応用出来る事も見いだしている。これはより正確なタンパク質の定量分析を可能にする。今後は種々の方向に応用して行きたい。

# 鋳造シミュレーションおよび3Dプリンタを用いた 鋳型製造技術の開発

鎌田 尚幸\*1, 清水 一道\*2, 船曳 崇史\*3

## 1 緒言

近年、鋳造技術の発展に伴って、鋳型の複雑形状化や短納期化が求められている。従来では、鋳造技術者の経験や勘をたよりに鋳造方案を作成し、試験鋳込みを繰り返し行ってきたが、複雑形状化による特殊な中子の使用によって木型のコストが高くなり、納期についても長期化してしまう。そこで、鋳造シミュレーションによる湯流れや凝固解析を行うことによって、コストの低下や納期の短縮化が可能になる。

また、近年、3Dプリンタ技術は鋳造品の生産に活発に取り入れられており、試作品の製作から鋳型の造形まで実施でき、納期の大幅な短縮が実現可能である。

そこで、本研究ではCADによって鋳造方案を作成し、シミュレーションを用いて湯流れや凝固解析を行うことで、鋳造欠陥の抑制などについて最適な鋳造方案を検討する。また、最適化した鋳造方案を基に積層RPなどの3Dプリンタ技術を用いて実際に鋳型を製作し、鋳込みを行うことでシミュレーションによって得られた結果との比較検討を行う。

## 2 シミュレーションによる鋳造方案の検討

### 2.1 3Dプリンタによる模型の製作

本研究では複雑な形状にて鋳造されることの多い自動車部品の中からマニホールドを対象とし、鋳造方案の検討を行った。シミュレーションによる解析を行う前に実際に対象となる部材を直に確認しながら、湯口、湯道、押湯などの位置を検討するため、3Dプリンタ

(AGILISTA-3000 KEYENCE 製)を使用して樹脂造形によるマニホールドの模型製作を行った。製作した模型を図1に示す。製作した模型を使用して鋳造方案の検討を行い、設計した鋳造方案についてCADを使用してデータ化し、凝固解析シミュレーションを行うことで、ひげ巣などの鋳造欠陥の抑制などの観点から最適となる鋳造方案について検討を行った。



図1 3Dプリンタで製作した模型

### 2.2 シミュレーションによる凝固解析

はじめに対象となるマニホールドの形状において、ひげ巣欠陥の発生しやすい位置を特定するため、押湯などは使用せず、湯口のみを設定してシミュレーションソフト(JSCAST クオリカ株式会社製)による凝固解析を行った。材料は鋳込み実験においても使用するAl-Si-Mg系アルミ合金とした(材料記号AC4C)。このアルミ合金は耐食性、耐圧性に優れているため自動車部品などに幅広く使用されている。シミュレーション解析結果を図2に示す。図2より最終凝固部はフランジおよびボス部分となっており、これらの部位においてひげ巣が生じやすいことが確認された。

図2の解析結果よりひげ巣が生じやすい部位を特定したため、最終凝固部をこれらの部位が移動させ、ひげ巣を抑制するために湯道や押湯の設定を行った。図3に設計した鋳造方案を示す。図3について凝固シミュ

\*1: 伸和機型株式会社

\*2: 室蘭工業大学 もの創造系領域機械工学ユニット

\*3: 室蘭工業大学 物質工学専攻

シミュレーションを行った結果を図 4 に示す。図 4 より、最終凝固部はボスやフランジとなっており、引け巣の発生予測箇所が図 2 と比較して大きく変化していないことから、押湯の効果が小さくなっており、大きな改善は得られなかった。

図 4 の方案では押湯の効果が小さく、引け巣の発生について改善されなかったため、図 5 に示すように湯

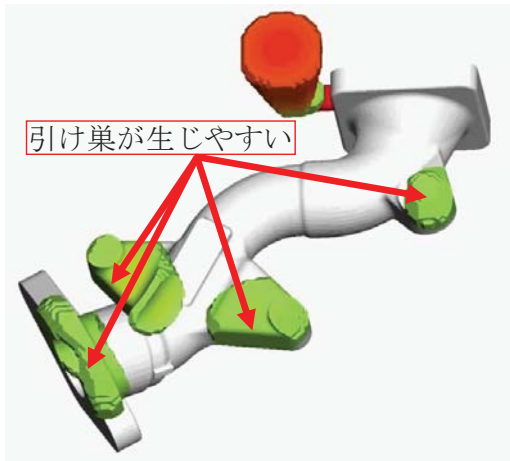


図 2 凝固シミュレーション解析結果

道や押湯を大きくすることで押湯の効果が明確になるように設計し、凝固シミュレーションを行った。シミュレーションの結果を図 6 に示す。図 6 より押湯の効果が大きくなったことにより、本体部分になっていた最終凝固部が湯道近傍部となった。この結果より、図 5 の铸造方案においてはひけ巣を抑制すると推測した。凝固解析の結果、良好な結果が得られた図 5 の铸造方案を元にし、铸込み実験を行うために寸法や形状を考慮しながら再設計し、図 7 に示す铸造方案とした。

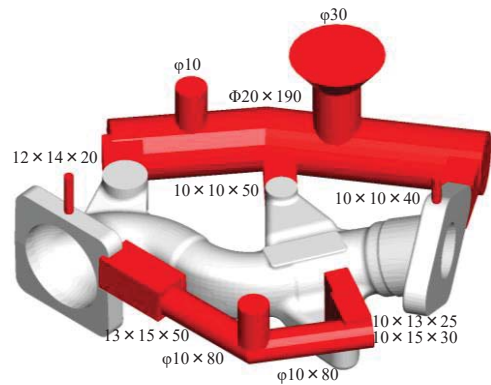


図 5 押湯などを大きく設計した铸造方案

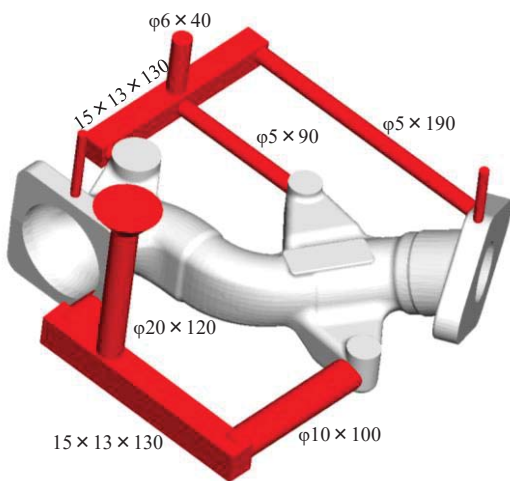


図 3 湯道、押湯を設定した铸造方案

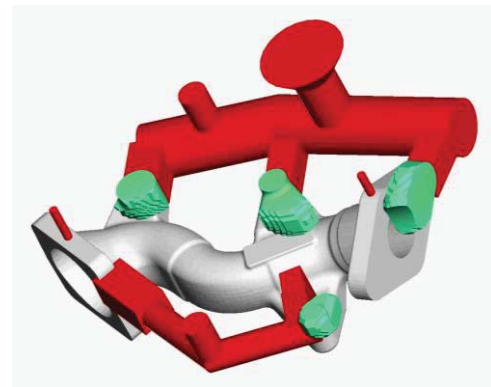


図 6 押湯などを大きく設計した铸造方案の解析結果

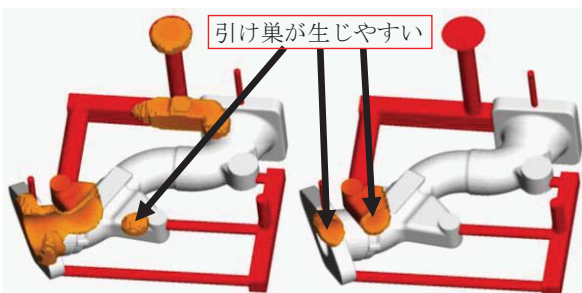


図 4 湯道、押湯を設定した铸造方案の解析結果

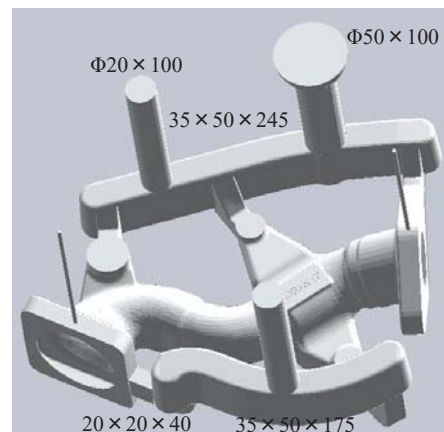
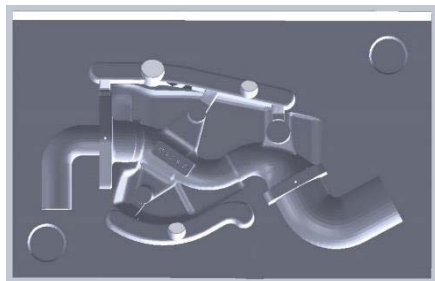


図 7 選定した铸造方案

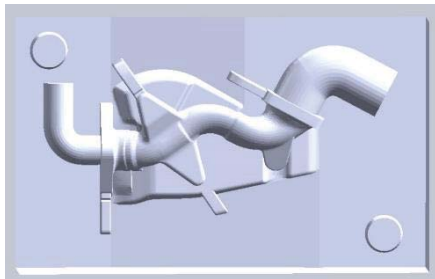
### 3 3Dプリンタによる鋳型製作及び鋳込み実験

#### 3.1 鋳型の製作

図7の鋳造方案において湯流れや凝固シミュレーションを行った結果、湯流れについては湯の充填率が高く、凝固についても図6で得られた結果と同様の結果が得られ、本体部にひけ巣は確認されなかった。図7の鋳造方案から図8に示す上型と下型の3Dデータを作成し、3Dプリンタ(S-Print)による積層鋳型を製作した。この3Dプリンタはインクジェットプリントを積層硬化法として、粒径140 $\mu\text{m}$ でフラン自硬性タイプの砂を1層0.28mmで積層することで鋳型の製作が可能である。図9に実際に積層によって製作した鋳型と中子を示す。



上型



下型

図8 積層造形に使用した鋳型データ

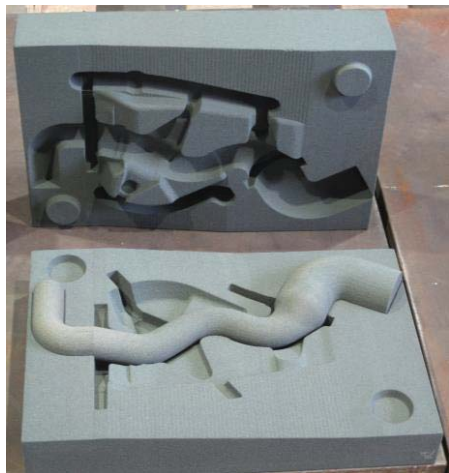


図9 3Dプリンタによって製作した鋳型

#### 3.2 鋳込み実験結果

図9の鋳型を使用して、シミュレーションで想定したアルミニウム合金による鋳込み実験を行った。実際に鋳造したマニホールドを図10に示す。表面や管内部を観察した結果、ひけ巣は発生していなかったため、実際の鋳造品においてもシミュレーションで得られた結果となり、良好な品質となった。しかしながら、今回の鋳造方案は品質を優先的に考慮した結果、投入する原料に対しての本体部に使用した原料の比率である歩留まりが低く、更に湯道を設定した箇所が円形の箇所であることから加工性が悪くなっている。よって、今後は得られた品質を低下させること無く、鋳造方案を改良し、問題点を改善していくことが重要である。

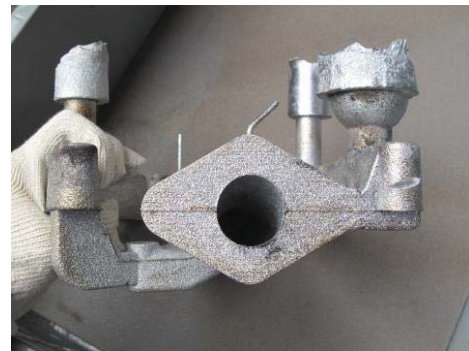


図10 鋳造したマニホールド

### 4 結言

本研究ではひけ巣の抑制が可能な鋳造方案を湯流れ、凝固シミュレーションによって選定し、実際に積層型の3Dプリンタを使用して鋳型を製作した。製作した鋳型を使用してアルミニウム合金による鋳造実験を行った結果、鋳造品のひけ巣が抑制されており、品質も良好となっていたことから、シミュレーションによる鋳造方案の選定とそれを元にした鋳型造形の有用性が確認された。

# 炭化タングステン鑄ぐるみ耐摩耗鑄鋼材料の開発

伊藤 淳<sup>\*1</sup>, 清水 一道<sup>\*2</sup>, 楠本 賢太<sup>\*2</sup>

耗鑄鉄の高温エロージョン摩耗特性を調査した。

## 1 はじめに

粉粒体の衝突により材料表面が損傷、除去される現象をエロージョンと呼ぶ。この現象は、粉体の固気二相流による輸送系でのパイプバンド部やバルブ、タービンブレード、ファン等において生じている。高炉の旋回シュートでは鉄鉱石やコークスが衝突することで600~700℃の高温環境下において激しいエロージョン摩耗が生じている。これにより、旋回シュートライナー内壁が著しく損傷するため優れた耐高温エロージョン摩耗特性を示す材料の開発が求められている。

これまでの研究において、各種鉄鋼材料は高温環境下では常温環境下よりもエロージョンによる摩耗量が著しく増加することが知られている。この原因として、高温環境下での基地組織の硬度が低下し、摩耗量が増加することが明らかになっている<sup>1)</sup>。また、高硬度な炭化物を有する高クロム鑄鉄、多合金鑄鉄の高温環境下におけるエロージョン摩耗特性についても報告されている<sup>2,3)</sup>。良好な耐エロージョン摩耗特性を示す要因として、高硬度な炭化物を有することで高温環境下において、硬度低下の抑制を挙げている<sup>1-3)</sup>。しかし、析出及び晶出炭化物を制御し、硬度を上昇させるには限界がある。この対応策として、材料表面に優れた機能性を付与することが可能な鑄ぐるみ鑄造法が着目されている。常温環境下において高硬度な炭化タングステン(WC)を鑄ぐるみ鑄造法により複合化させ、エロージョン摩耗特性の向上も報告されている<sup>4)</sup>。

本研究では、優れた耐高温エロージョン摩耗特性を示す材料の開発を目的とし、良好な耐高温エロージョン摩耗特性を示す高クロム鑄鉄、多合金鑄鉄を複合化の母材として、WCを複合化させたWC鑄ぐるみ耐摩

## 2 供試材および実験方法

### 2.1 供試材

#### 2.1.1 化学組成

供試材にはクロム含有量が25~27%と異なる高クロム鑄鉄の中から一般的に耐摩耗材料として使用されている3.0C-27Cr、耐熱性付与を目的としてニッケル(Ni)を添加した3.0C-0.5Ni-27Cr、3.0C-0.5Ni-25Cr、3.0C-0.5Ni-25Cr、多合金鑄鉄の中から5Nb-5Co、計5種類を選定した。供試材の化学組成を表1に示す。

表1 供試材の化学組成

	(mass%)										
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Co	Nb	V	W	Fe
3.0C-27Cr	3.09	0.45	0.77	-	26.50	-	-	-	-	-	Bal.
3.0C-0.5Ni-27Cr	2.92	0.50	0.60	0.43	27.45	0.055	-	-	0.056	0.013	Bal.
3.0C-0.7Ni-25Cr	2.98	0.45	0.55	0.65	24.90	-	-	-	-	-	Bal.
3.0C-0.5Ni-25Cr	3.01	0.51	0.56	0.58	25.32	-	-	-	-	-	Bal.
5Nb-5Co	1.90	0.47	0.61	-	5.23	5.35	5.58	3.14	-	4.86	Bal.
	P:0.020~0.098 S:0.010~0.063										

#### 2.1.2 WCの形状、寸法及び配置

WCの形状および寸法はφ5×50、φ8×50、□8×50mm、φ10mmとする。3.0C-0.5Ni-25Crにはφ5×50のWCを試験面に対し縦置きに、3.0C-0.4Ni-27Crにはφ5×50のWCを試験面に対し横置きに、2.7C-0.7Ni-23Crには直径10mmのWC球を、3.0C-27Cr、5Nb-5Coにはφ8×50

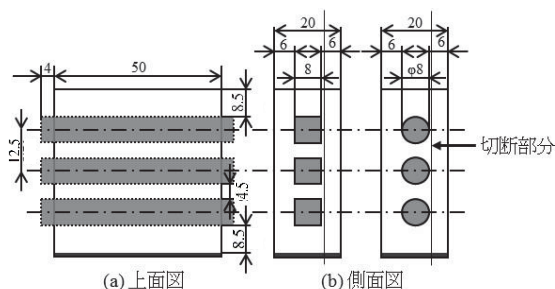


図1 WC鑄ぐるみ鑄鉄の模式図

\*1: 株式会社 北海道特殊鑄鋼

\*2: 室蘭工業大学 もの創造系領域 機械工学ユニット

および $\phi 8 \times 50$ のWCを面積率がそれぞれ最大で約50%となるよう横置きに配置し、鑄ぐるみ鑄造法により複合化した。WC横置き鑄ぐるみ材の側面図および上面図を図1に示す。WC鑄ぐるみ鑄鉄は図1に示す切断部分をワイヤー放電加工機により切断し、平面研削により表面にWCが現れた状態で試験を行った。

## 2.2 組織観察

光学顕微鏡、エネルギー分散型X線分析装置(EDS)、金属組織の観察を行った。金属組織を調査する試料の腐食液として3%硝酸アルコール溶液(ナイタル)と王水を用いた。EDS分析には、タングステンフィラメントを用い、加速電圧20kVにて実施した。

## 2.3 高温エロージョン摩耗試験機および試験方法

試験には高温エロージョン摩耗試験機を使用した。高温エロージョン摩耗試験機の概略図を図2に示す。この試験機は3種類の加熱炉により、粉体、供試材、圧縮空気を加熱することができる。実験条件は供試材温度を600℃、粉体温度を600℃、熱風温度を500℃として試験を行った。

粉体には平均粒径が1.16mmのアルミナボールを使用した。使用したアルミナボールを図3に示す。一度に噴射可能な粉体の量は800gであり、これを10回繰り返し、計8000gの粉体を噴射した。この際の粉体の速度は30m/sとなるようにした。

摩耗試験前後で試験片の質量を電子天秤(測定精度0.1mg)で測定し、その差(摩耗減量)から摩耗体積を算出し摩耗量とした。なお、摩耗量の評価には各供試材の密度が異なるため損傷速度(Erosion rate<sup>5)</sup>)を用いた。

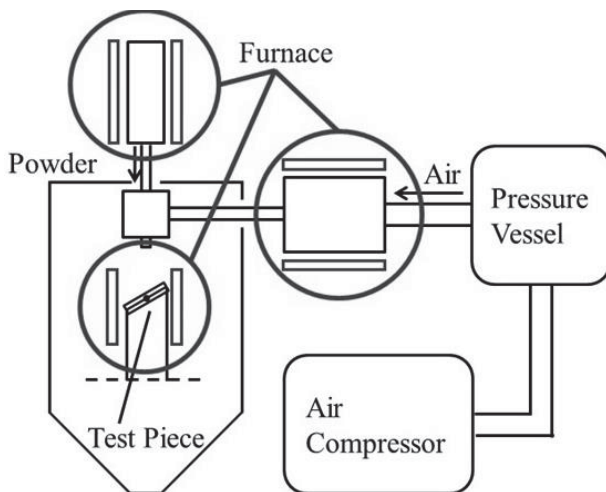


図2 高温エロージョン摩耗試験機概略図

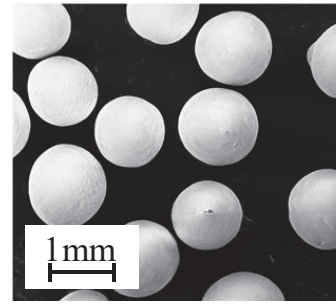


図3 アルミナボール

## 2.4 高温ビッカース硬さ試験

試験機には、高温ビッカース硬さ試験機(AVK-HF)を用いた。試験片の寸法は7.0×7.0×5.0(mm)とした。試験温度は室温、300℃、600℃および900℃とした。供試材の昇温速度は10℃/minとし、試験温度に達してから5分間保持してから試験を行った。試験面の酸化を極力抑えるため、アルゴン雰囲気中で試験を実施した。圧子にはダイヤモンド圧子を用い、試験荷重は98Nとし、荷重保持時間は10秒とした。圧痕の対角線の長さを0.5μm単位まで読み取り、直交する対角線の長さとの平均値を用いて、硬さを算出した。以上の条件で各温度において7点の硬さを測定し、最大値と最小値を省いた5点の平均値を各供試材の硬さとした。

## 3 試験結果

### 3.1 金属組織観察

各供試材の組織写真を図4に示す。各種高クロム鑄鉄

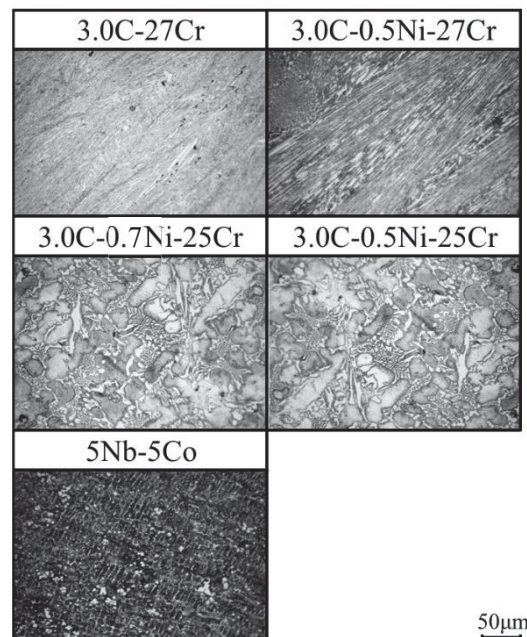


図4 供試材の組織写真



は Cr/C が 5 以上であること、3%硝酸アルコール溶液で腐食できないことからオーステナイト基地と判断できる。また、クロムを主体とした  $M_7C_3$  炭化物を有している。また、5Nb-5Co は MC,  $M_2C$  炭化物を含有しており、基地組織はマルテンサイト、ベイナイト、パーライトのいずれかであると判断できる。

### 3.2 摩耗試験結果

#### 3.2.1 母材における摩耗試験

高温エロージョン摩耗試験機を用いて高温エロージョン摩耗試験を行った。供試材温度 600°C、衝突角度 30deg.における各母材の高温エロージョン摩耗試験結果を図5に示す。各供試材の母材を比較すると5Nb-5Coが最も良好な耐高温エロージョン摩耗特性を示した。

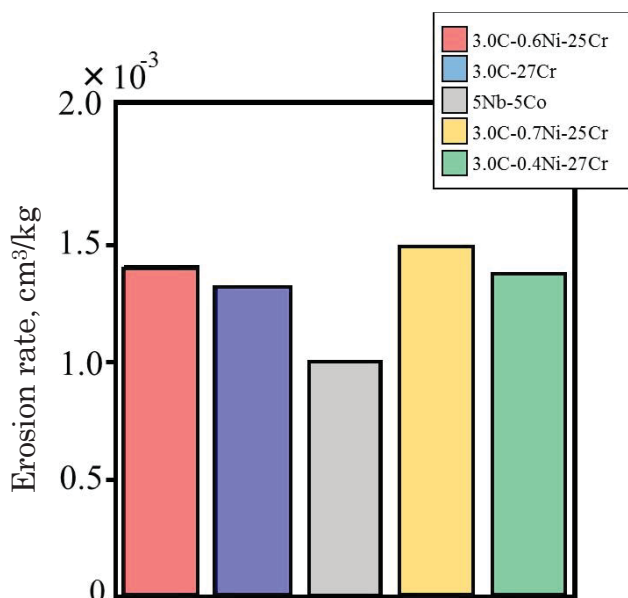


図5 母材の高温エロージョン摩耗試験結果

#### 3.2.2 WC 鑄ぐるみ材における摩耗試験

供試材温度 600°C、衝突角度 30, 60deg.における WC 鑄ぐるみ材の高温エロージョン摩耗試験の結果を図6に示す。これより、WC 縦置き鑄ぐるみ材、WC 球鑄ぐるみ材と比較すると WC 角棒横置き鑄ぐるみ材および丸棒横置き鑄ぐるみ材は WC 縦置き鑄ぐるみ材より約 1.9 倍、WC 球鑄ぐるみ材より約 2.6 倍優れた耐高温エロージョン摩耗特性を示した。これは、WC 横置き鑄ぐるみ材の摩耗面に現れる WC の面積率が WC 縦置き鑄ぐるみ材、WC 球鑄ぐるみ材に比べて大きかったためである。中でも、WC 角棒横置き鑄ぐるみ材が良好な耐高温エロージョン摩耗特性を示した。また、各種鑄ぐるみ材はそれぞれの母材と比較し損傷速度が低下した。これは、WC を複合化させることで相対的な硬度が上

昇し、材料表面の塑性変形が抑制されたためである。

#### 3.2.3 摩耗表面の三次元観察

WC 角棒および丸棒横置き鑄ぐるみ材の摩耗表面の三次元観察を行った。三次元観察結果を図7、摩耗表面の高さプロファイル測定結果を図8に示す。WC 角棒横置き鑄ぐるみ材に比べ、WC 丸棒横置き鑄ぐるみ材は摩耗深さが深くなっており、特に WC と母材の間に著しい損傷が生じていた。そのため、WC と母材との接合面の観察を行った。WC 角棒、丸棒ともに母材との界面に反応層が観察された。WC と母材との間に反応層を形成していたが、WC 丸棒横置き鑄ぐるみ材は、母材部分の損傷が著しいことから高硬度な WC の体積率が大きいほど耐高温エロージョン摩耗特性向上に寄与すると考えられる。

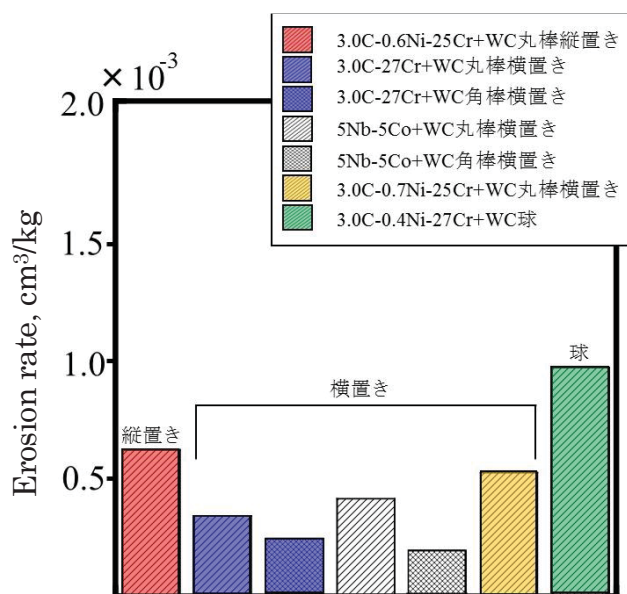


図6 鑄ぐるみ材の高温エロージョン摩耗試験結果

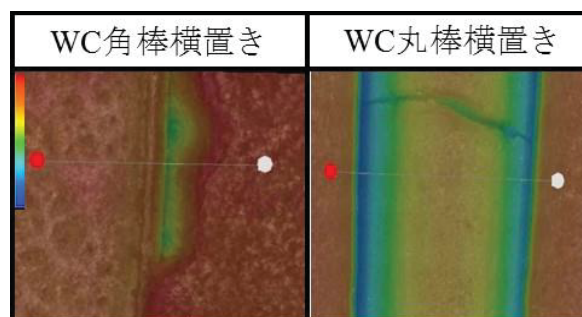
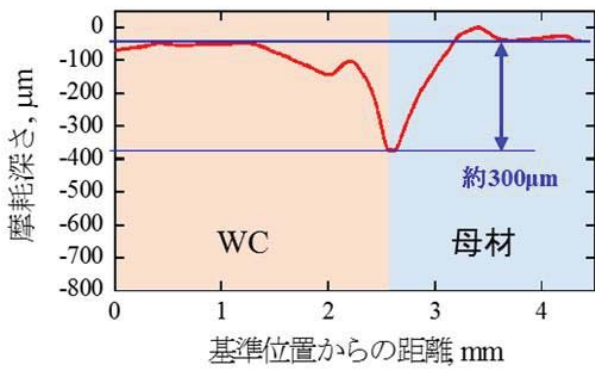
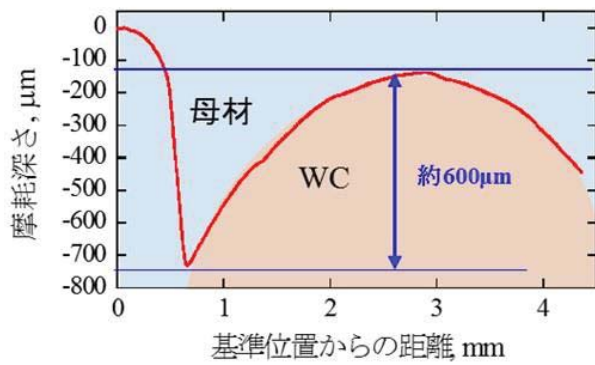


図7 摩耗表面の三次元観察結果(5Nb-5Co)



(a) 角棒横置き铸ぐるみ铸铁



(b) 丸棒横置き铸ぐるみ铸铁

図 8 摩耗表面の高さプロファイル(5Nb-5Co)

### 3.3 高温ビッカース硬さ試験

高温環境下における耐エロージョン摩耗特性には高温ビッカース硬さが重要な要素となる。そのため、各母材の高温ビッカース硬さを測定した。室温、600°Cに

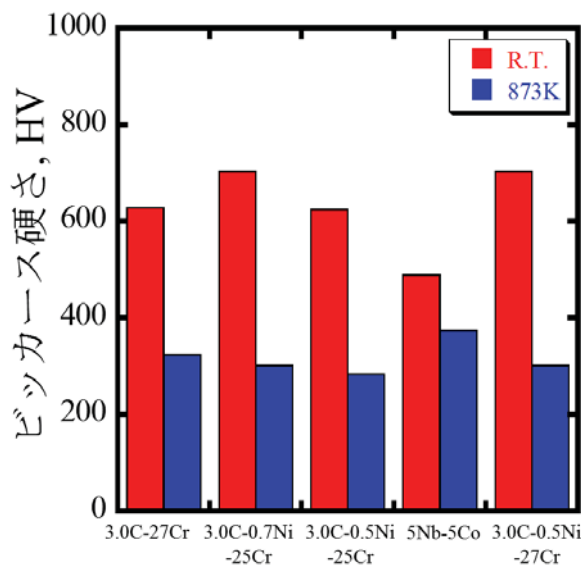


図 9 常温および 600°Cにおけるビッカース硬さ

における母材の硬さを図 9 に示す。高温環境下において多合金铸铁では約 374HV, 高クロム铸铁では 303HV と多合金铸铁は高クロム铸铁に比べ、高温環境下でも硬さを保持している。これは、多合金铸铁が基地組織中に高硬度な MC, M<sub>2</sub>C, M<sub>3</sub>C および M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> 炭化物を有しており、材料表面の塑性変形を抑制したためである。この結果、多合金铸铁は高クロム铸铁よりも、優れた耐高温エロージョン摩耗特性を示したと考えられる。

## 4 おわりに

本研究では、優れた耐高温エロージョン摩耗特性を示す材料の開発を目的とし、母材の材質および超硬の配置を検討した。結果を以下に要約する。

- 1) WC 铸ぐるみ材は、母材と比較し、良好な耐高温エロージョン摩耗特性を示した。特に、铸ぐるみ材の中でも WC 角棒横置き铸ぐるみ材が最も優れた。本研究の結果より高温環境下において WC を铸ぐるみ铸造法により複合化させることは、耐高温エロージョン摩耗特性向上に有効な手段である。また、摩耗面に現れる WC の面積率、体積率を高めることが重要な要素となる。
- 2) 多合金铸铁は高クロム铸铁に比べ、高温環境下でも硬さを保持できていた。この結果、多合金铸铁は高クロム铸铁よりも、優れた耐摩耗性を示したと考えられる。
- 3) WC 角棒横置き铸ぐるみ材に比べ、WC 丸棒横置き铸ぐるみ材は摩耗深さが深く、WC と母材の接合面およびその周辺部において著しい損傷が見られた。この結果、WC 角棒横置き铸ぐるみ材が最も良好な耐高温エロージョン摩耗特性を示した。

## 文献

- 1) K. Shimizu, Y. Xinba, A. Araya, Wear, 271(2011), 1327.
- 2) K. Shimizu, Y. Xinba, M. Ishida, T. Kato, Wear, 271(2011), 1349.
- 3) Kenta Kusumoto, Kazumichi Shimizu, Xinba Yaer, Hiroya Hara, Kazuhiro, Tamura, Hideki Kawai, Materials and Design, Vol. 88(2015), 366.
- 4) 清水一道, 新巴雅尔, 松元秀人, 前田善之, 铸造工学, 第 80 卷(2008), 457.
- 5) I. Finnie, Wear, 3, (1960), 87.

# 表面弾性波センサーを用いた乳房炎早期検出に関する研究

福田 永<sup>\*1</sup>, 今井 哲朗<sup>\*2</sup>, 夢田 芳広<sup>\*1</sup>

## 1 はじめに

乳用牛の病気でもっとも多いのが乳房炎で、治療に使われる抗菌性物質が残留し、生乳に混入した事故は平成 25 年度、北海道では 78 件発生している。廃棄乳量は 1154.4 トンにのぼり、被害額ともに年々増加している。現状では生乳に残存する抗生物質を定量的に計測する測定手段が確立されていない。本研究では、生乳中の微量セファゾリン（抗生物質）濃度を検出できるバイオセンサーを開発することを目的とした。

## 2 概要

セファゾリンは、主に家畜における一般的な乳房炎病原菌を含むグラム陽性細菌に抗菌活性を示す物質である。日本では、動物用医薬品として、セファゾリンを主成分とする牛の乳房炎を適応症とした乳房注乳剤及びセファゾリンナトリウム又はその水和物を有効成分とする牛の細菌性肺炎、細菌性下痢症等を適応症とした静脈内及び筋肉内投与の注射剤が承認されている。セファゾリンが含まれた生乳を搾乳するヒューマンエラーが道内で年間約 1,000 トン起きており、農家では多大な損害が起きている。生乳内のセファゾリン濃度を検出できるセンサーが求められており、そのためレイリー型表面弾性波（SAW）溝流路型デバイスを新たに開発し分析を行った。

## 3 実験方法

本研究では水晶基板表面で特定のモードの弾性表面波(SAW)を誘起させ、生体分子間の相互作用をその信号測定でその場検出できるラボオンチップを開発した。

(図 1). 弾性波のモードとしては、ラブ波, SH-SAW, STW, レーリー波が存在することが知られている。この中で特にレーリー波は、深さ方向の変位をもつ横波のほかに波動伝播方向に変位をもつ縦波が励振され、表面を除いた基板内を等方的に広がりながら伝搬していく。このため、レーリー波伝搬面上に液体が存在する場合、波は液体中に縦波を放射してしまうため、その液体が流れたり、攪拌、飛翔したりする現象が生じるため減衰が著しく液体には適用できないとされてきた。本研究では、図 1 に示すように伝播路上に溝を設けたガラス基板を配置し、溝内にセファゾリン溶液を注入して測定を行った。最初に生乳 100%使用した市販の牛乳に質量濃度 0.2wt%になるようにセファゾリン油性乳房注乳剤（共立製薬製、品名セファゾリン LC「KS」）を混入した。セファゾリンを混入させていない

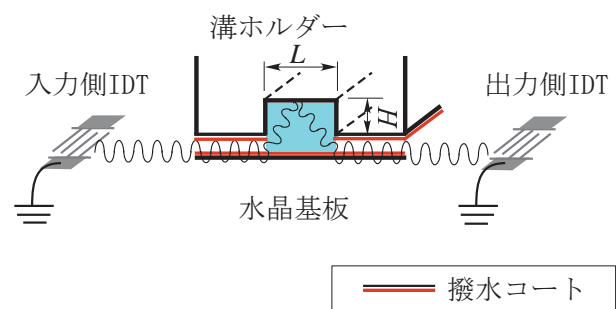


図 1 バイオセンサーの主要部

\*1：しくみ情報系領域 電子デバイス計測ユニット

\*2：今井動物病院 院長

市販牛乳の SAW 信号位相を基準とした測定についてネットワークアナライザを用いて行った。テストした液状のセファズリンは油性成分を含有し、そのため純水または牛乳に均一に混ぜることが困難である。そこで粉末状のセファズリンナトリウムを用いて同様の位相差測定を行った。さらに、生乳の油脂成分を除去するためフィルタを通して位相差測定を行った。

#### 4 実験結果

セファズリンを混入していない市販牛乳の位相を基準とした測定結果を図 2 に示す。比較のため純水についても測定した。図に示すように 0.2wt% のセファズリン溶液で約 36deg の位相変化がある結果を得た。

次に、セファズリン含有有無による生乳を 5 サンプル入手（入手先：北海道留萌振興局）し、位相測定を行った（表 1）。

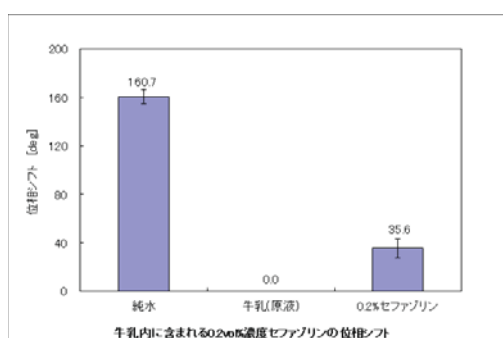


図 2 純水，牛乳，および 0.2%セファズリン含有牛乳の位相差比較

表 1 生乳サンプルの区分

サンプル番号	区分
1	抗生物質入り 乳房炎治療中
2	抗生物質入り 乳房炎治療中
3	分娩後4日目の生乳
4	泌乳後期の生乳(分娩予定6月10日)
5	分娩後80日経過した生乳(2月3日分娩)

生乳サンプル No.1 の位相を基準にし、各サンプルの位相シフト測定結果を図 3 に示す。セファズリンが含まれるサンプルは No.1 と No.2，含まないサンプルは No.3, No.4, No.5 であるが、位相シフト量に一定の傾向が見られなかった。これは、生乳内に含まれるセファズリン以外の脂肪やタンパク質などの成分が SAW 信号に影響したためと考えられる。

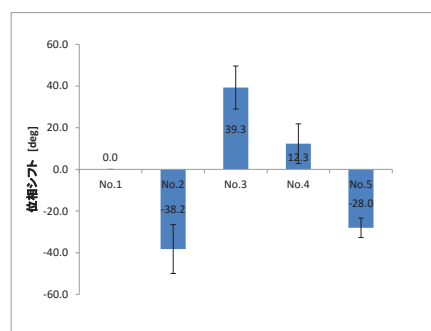


図 3 表 2 のサンプルにおける位相差比較

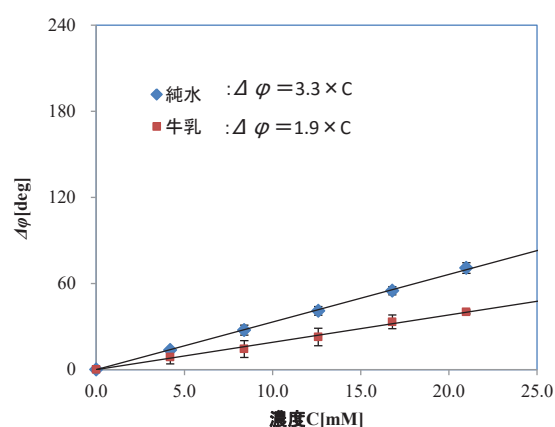


図 4 セファズリンナトリウム濃度による位相シフト（溝幅  $L=0.41\text{mm}$ ，溝高さ  $H=0.26\text{mm}$  の場合）

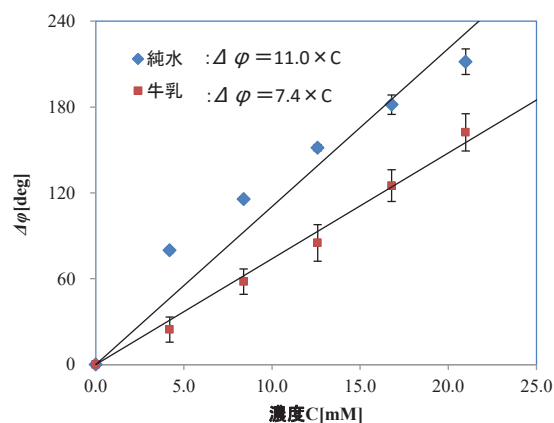


図 5 セファズリンナトリウム濃度による位相シフト（溝幅  $L=1.04\text{mm}$ ，溝高さ  $H=0.795\text{mm}$  の場合）

図 4 および図 5 に示すように、純水と市販牛乳を溶媒として、粉末状のファゾリンナトリウム濃度の位相シフト測定を行った結果、位相シフトが濃度に比例している傾向が示された。

次に生乳をろ過し油脂成分を除去した後、同様の位相測定を行った。ここでは、定性濾紙 (GE ヘルステア社 No.1, No.3, No.4) およびフィルタ (アドバンテック社 メンブレンフィルタ 保持径 0.45 $\mu$ m および 0.8 $\mu$ m を用い、10mM~50mM のサンプルを作製した。その結果、図 6 に示すように、0~20mM 濃度まで直線的に位相が変化し、その範囲内で検量化できることが明らかとなった。

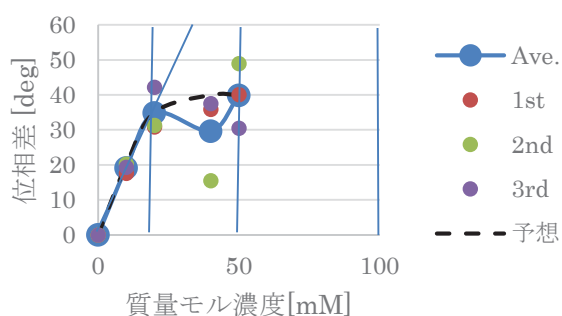


図 6 市販牛乳の位相差におけるセファゾリン濃度依存性

## 5 おわりに

今後は、本研究で明らかにした周波数および溝ホルダーの溝幅  $H$  と溝高さ  $L$  を最適化し、数  $\mu$ L の微量溶液にて  $\mu$ M~nM のタンパク質や抗原抗体反応の検知を目的としたバイオセンサーへの応用を進めていきたい。

開発したレイリー波を用いた溝流路型 SAW センサーは、試料溶液に含まれる特定の物質を検知することができないデメリットがある。特定物質の定量検出する技術として、金薄膜上の自己組織化単分子膜を形成し抗体を固定化する。また特定の抗原検出する方法がある。この技術と溝流路 SAW デバイスを組み合わせた研究を進める方針である。

## 文献

- 1) 平成 26 年度室蘭工業大学博士学位論文, 小川健吾
- 2) 小川健吾, 山田真也, 鳥越俊彦, 澤田 研, 岩佐達郎, 杉山史一, 夢田芳広, 植杉克弘, 福田 永 : 「レイリー型表面弾性波を用いた液相系センサーの動作特性」, 表面

科学, 第 35 巻第 6 号 p.319-323 (2014-6)

- 3) 小川健吾, 鳥越俊彦, 澤田研, 岩佐達郎, 永野宏治, 柴山義行, 夢田芳広, 植杉克弘, 福田永 : 「液相中への縦波放射を利用したレイリー型表面弾性波センサーの開発」, 電気学会 論文誌 E, Vol.135, No.12 (2015-12)
- 4) K. Ogawa, T. Abe, Y. Seino, T. Torigoe, Y. Tada, K. Uesugi, H. Fukuda, K. Sawada, T. Iwasa : Highly Sensitive Analysis of Glutathione and Glutathione S-transferase Reaction in Liquid Phase using Surface Acoustic Wave Biosensors, 7<sup>th</sup> International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics, D-P13, p.231, Fukuoka, Japan (2013-3)
- 5) K. Ogawa, T. Abe, Y. Seino, T. Torigoe, Y. Tada, K. Uesugi, H. Fukuda, K. Sawada, T. Iwasa : Highly Sensitive Analysis of Water-Insoluble Nanoparticles and Soluble Proteins in Liquid by Resonant Surface Acoustic Wave Modulation Measurement Wave Biosensors, 26<sup>th</sup> International Conference on Microprocesses and Nanotechnology, 7P-7-102, Sapporo, Japan (2013-11)
- 6) 特許出願  
出願日 : H25 年 10 月 23 日  
出願番号 : 特願 2013-220407  
発明の名称 : 表面弾性波センサおよび表面弾性波センサ装置  
出願人 : 室蘭工業大学, ファインクリスタル株式会社  
発明者 : 福田永 (室蘭工業大学), 小川健吾 (ファインクリスタル株式会社)



## 【第 26 回フロンティア技術検討会】





# 第26回フロンティア技術検討会

## 講演録

【日時】平成26年10月16日(木) 14:00～19:15

【場所】中嶋神社 蓬峽殿(室蘭市)

【参加者】94名

### 【講演会】

テーマ：「水素エネルギー社会の実現に向けて」

### 【開会挨拶】

(公財)室蘭テクノセンター理事長 栗林 和徳

### 講演1：「水素社会の実現に向けて ～課題と取り組みの方向性～」

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部 主任研究員 吉積 潔 氏

### 講演2：「北海道を水素油田に!!再生可能なエネルギーを活用した社会システムの構造改革」

(株)フレイン・エナジー 代表取締役 小池田 章 氏

### 講演3：「燃料電池車へのトヨタの取り組み」

トヨタ自動車(株) 流通企画部 北海道・近畿 地域統括部長 萩原 靖仁 氏

### 講演4：「炭素ナノ資材を活用した燃料電池用電極触媒の開発と高性能化」

室蘭工業大学 暮らし環境系領域 准教授 田邊 博義

### 【開会挨拶】

(公財)室蘭テクノセンター 理事長 栗林 和徳  
司会者)これより第26回フロンティア技術検討会を開催致します。みなさまには、本日、大変お忙しい中、ご参加いただきまして、誠にありがとうございます。本日は、お手許のプログラムの通り、「水素エネルギー社会の実現に向けて」というテーマについて、4名の講師に講演をお願いしております。

松村専務理事)みなさん、こんにちは。私は、公益財団法人室蘭テクノセンターの専務理事をしております。松村と申します。本日は理事長が参りまして、挨拶する予定でございましたけれども、所用のため欠席をさせていただいておりますので、私の方から、実行委員会を代表いたしまして、開催のご挨拶を申し上げたいと思います。

本日は、何かとお忙しい中、講師の先生方を始め、多くのみなさまのご出席をいただきまして、また、多くの団体のご後援をいただきまして、このようにフロンティア技術検討会を開催することができました。本当に心から、御礼を申し上げます。このフロンティア技術検討会ですけれども、平成元年に、室蘭工業大学の地域共同研究開発センター、それから地域企業のみなさんと、産学官連携事業と言うことで誕生しておりまして、今回、26年目、26回ということで、毎年継続をして参りました。

昨年ですと、地域における環境ビジネスの転換社会、一昨年は、エネルギー戦略と省エネ技術、そして震災がありました3年前は、企業のリスク管理と言ったことをテ

マとして、タイムリーな地域の産業界にとって、有益と思われるようなテーマを設定をしております。地域の活性化と、産学官の地域連携のきっかけづくりと言ったようなことを目指して取り組んで参ります。

今年のテーマは、「水素」です。「水素エネルギー社会の実現に向けて」と言うふうにテーマを設定いたしました。水素については、国は昨年度から取り組みを強化いたしましたし、北海道におきましても、初めて水素エネルギーの現状を学ぶ研究会を開催したと聞いております。また、室蘭市では、この水素エネルギーの活用を視野に入れまして、室蘭市グリーンエネルギー構想と言うものを来年の2月に発表すると聞いております。また、新聞報道で知ったのですが、トヨタ自動車の内山田会長は、講演の中で、「燃料電池車を広く普及させ世界を変えたい、水素社会の実現に尽力する姿勢を示した」と、報道もございました。燃料自動車につきましては、室蘭市でも全国に先駆けて走る姿を見てみたいものだと思っております。

水素は社会において、非常に大きなものがございます。水素は、特に室蘭地域におきまして、水素は水や化石燃料からつくるわけですが、室蘭においては企業の生産活動の中から得られると言うことなんです。また、地域の企業においては、水素急増の動き、あるいは水素ステーションの蓄圧機の研究、水素需要のポテンシャルが高い地域であろうと思っております。

水素ですけれども、使うときには二酸化炭素を出さない、循環可能な低炭素型のエネルギーでもございます。

昔、理科で習ったと思いますが、周期律表で一番最初にくるのが水素。原子番号が1。常温、常圧では気体と言う

ことで、最も軽いと言うことです。水素はいろいろな可能性を持っており、水素をめぐる様々な観点から講演をいただくということになっておりまして、4人の先生方からご講演をいただきます。

ご紹介いたしますと、最初は、水素をめぐるの国の動きや水素社会実現に向けての課題を、独立行政法人新エネルギー産業技術総合開発機構、一般にはNEDOと呼ばれていますが、吉積様からご講演いただきます。次は、再生可能エネルギーによって得られた電力を活用するということでの社会システムの構造改革について、株式会社フライン・エナジーの小池田様。そして、今年度中にも燃料電池車の市販と言うものが予定をされておりますが、この燃料電池車への取り組みについて、トヨタ自動車の萩原様。最後は地元の大学から、炭素ナノ素材を活用した燃料電池用電極触媒の開発と高性能化と言うことで、室蘭工業大学

## 講演 I : 「水素社会の実現に向けて-課題と取り組みの方向性」

新エネルギー・産業技術総合開発機構

新エネルギー部 主任研究員 吉積 潔 氏

司会者) それでは早速講演に入りたいと存じます。水素社会の実現に向けて-課題と取り組みの方向性をテーマに、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部 主任研究員吉積 潔様にご講演いただきます。吉積様はトヨタ自動車株式会社に入社後、1999年から燃料電池自動車の開発に従事され、2014年6月よりNEDOに出向。水素ステーションをはじめ、これからの水素社会の実現に向けた業務に従事されています。それでは、吉積様、どうぞよろしくお願ひいたします。

吉積氏) ご紹介いただきましたNEDO新エネルギー・産業技術総合開発機構の吉積でございます。今日はどうぞよろしくお願ひ致します。今、ご紹介いただきましたように、今年の6月からNEDOの人間なものですから、まだ慣れないことも多くて、少しごたつくこともあるかと思いますがご了承願ひしたいと思います。

今回、この催し、26回目ということで、平成元年からということで、長い期間粘り強く、このように技術検討会をやっておられるのだと、実は私事ではありますが、同じ平成元年の結婚でございまして、同じ銀婚式を迎えた同士ということで、なかなかいいことかなと、続けることは大事なことかと思ひます。

本日のこれが私の講演メニューでございます。最初に、なぜ水素がこのように取り上げられて来ているのか、水素エネルギーの導入の意義について、まず述べさせていただきます。その後、水素社会をどのように実現していくのか、私どもNEDOのミッションであるとか、役割というようなことのご紹介も交えながらお話ししたいと思います。

まず、水素でございますけれども、宇宙で最も豊富にある元素ということで、約138億年前ビッグバンがあったときからある元素でございまして、宇宙全体の約70%を占めることになっております。水素単体では自然界にほとんど存在していない、地球上ではほとんどが化合物として存在している。それから色もありませんし、臭いもありません。最も軽い気体ですので、拡散が非常に早くてすぐに散ってってしまうという物理的特性があります。特徴的なこととしまして、燃えても火炎がほとんど見えない。水素が燃える状態をどう可視化していくかが1つの課題にもなります。燃焼すると酸素と反応して水になる。それから、マイナス252.6℃で液化化する。液体水素になり、た

の田邊先生からご講演をいただくということになっております。4人の先生方がそれぞれの異なるお立場から、専門的、具体的なお話が聞けるのではないかと楽しみにしておりますし、期待をしているところでもあります。

本日のこの検討会が、地域の産業の振興とその発展につながる、そのきっかけづくりになれば、開催した者としては歓迎であります。結びになりますけれども、日頃から、私どもに対して産学官連携の中でご支援をいただいております室蘭工業大学を始め、関係の方々、毎年開催をしておりますフロンティア技術検討会にお集まりをいただいているみなさま、そして今日お忙しい中、講師としてなりました先生方に、敬意と感謝を申し上げます。開催にあたって実行委員会を代表してのご挨拶とさせていただきます。

本日は、どうもありがとうございました。

いへん低温であるということです。

水素の利用としましては、このように（プロジェクトアの画面を示す）多くの使い方がございます。例えば、半導体で使う、製鉄所では精錬で使う、アンモニア製造で使う、ロケット燃料としても燃料として使うということがございます。

年間の消費量としまして、すでに180億ニュートン立方メートル、実はすでに使われておまして。自動車にしますと、1,800万台分になります。ここに来てこの新参者も、例えば家庭用の燃料電池、燃料電池自動車、今後ということではありますが、水素発電に使って行こうということになっております。

水素エネルギーの利用ということで、水素が安全か危険かということと言うと、使い方を誤ると危険です。他のメタン、プロパン、ガソリンと比べてとき、特別に危険なのかと言うと、実はそれほどでもなくて、水素が持つ特性、拡散係数であるとか、爆発のエネルギーであるとか、それぞれの燃料のなかで特質はあるのですが、基本的な水素の性質、様々な実験データに基づいて、法令が決まっております。それを守っていくとさほど難しいものではない。ただ、なめてはいけないということがございまして、水素ステーションの安全対策ですとか、車であれば燃料電池車の安全性。例えば、水素ステーションであれば、漏らしてはいけない。漏れたものを貯めてはいけないというように、いろいろな規制に基づいて、安全に使えるようになっております。

次に政策の状況ですが、なぜ水素エネルギーを今後推進していくのか？

1つは、クリーンなエネルギーであることが第一です。使用時に大気汚染物質やCO<sub>2</sub>ガスの排出がなく、基本は水が出るだけということになります。それから、柔軟な二次エネルギーということ。これは、さまざまな資源、つくり方がございます。様々な運び方があって、また様々な器機に使える。柔軟なエネルギーということになります。そして、何よりも日本の強みが発揮できるということで、実は日本は水素の使い方ということで、30年以上に渡る経験がございまして。経験と蓄積を使って、日本としての強みが発揮できるというようなことがあります。

(クリーンエネルギーに関するグラフを示し) CO<sub>2</sub>について、縦軸がCO<sub>2</sub>の排出量、横軸が年度になりますが、リーマンショックの年が産業的に厳しくなって大きく減りましたが、2011年の地震の後、原子力発電の稼働停止ということもあまして、発電が火力発電に推移する、CO<sub>2</sub>の排出量が増えてきまして、2012年にはこれまでのレベ

ルを超えるような状態になってきております。水素というクリーンなエネルギーに転換していくということが、待たなしの状態ということでございます。

水素は多様な原料から製造可能で、化石燃料から造るやりかた、工業プロセスの製造物、バイオマス、自然エネルギーから、水素に変換して運ぶ。使い方としましては、様々な使い方が期待できます。水素を介して運ぶというところまで考えますと、これまでですと、電力で運ぶとなると、送電線を建てて、全戸に運ぶということになる。送電ロスも生まれます。世界中にある、使われていないエネルギー資源を、日本に運んでくると、それが使えるということになりまして、石油に依存しないエネルギーセキュリティの向上に大いにこれからも役だっていくこととなります。

日本における技術の蓄積が30年分あるとお話しました。

まず1つ特許という観点で見た時に、水素に関連する特許、日本を出しているものが全体の60%という、日本の技術ベースが高いということが上げられます。(水素・燃料電池関連の国内市場規模予測のグラフを示して)これから全体の市場規模としては、2035年におよそ1兆円、2050年にはおよそ8兆円ぐらいまでには伸びるのではないかと見ています。産業力強化のためには、水素が必要に、大事になってくることであります。

最近における水素エネルギーに関する政策展開ですが、安部総理の日本再興戦略のなかで、これはアベノミクスの中のひとつなんです。エネファームの拡大、2030年に530万基のエネファームと、たいへん意欲的な目標が掲げられています。それと、もう一つFCV世界最速普及を掲げています。それを受けた形で、エネルギー基本計画が立てられています。その中で、「水素はたいへん有望な2次エネルギーで、今後水素社会の実現をめざす」ということが謳われています。これは、エネルギー基本計画のなかで初めて、水素が有望と謳われたということで、たいへんに象徴的なことだと思っています。

エネルギー基本計画のなかで謳われていることなんです。先ほどもお話ししましたが、家庭用、定置用エネファームの拡大、2030年に530万台という大きな目標ですが、これを目標にしています。これを達成するためには何が大事かという、導入に対する支援も必要ですが、コストを下げていかないことには普及は望めない。これを産業界含めて推進していくこととなります。

それと、燃料自動車の導入で、世界最速の普及をめざしていますが、車をつくるだけでは燃料電池自動車が普及いたしません。水素ステーション、インフラを整備しないとイケません。様々な規制の見直しも必要です。補助金も必要になります。当面、2015年ということで、ステーション100ヶ所の整備、2025年には1,000ヶ所の目標が掲げられています。

燃料電池の自動車だけの普及では、大量の水素社会の普及ということにはならない。大量につくって、大量に運んで、大量に使うということが、これから大事になってきます。そこで、本格的な利用、活用に向けた水素発電を実現するために、研究開発に着手しております。

先ほどもお話ししましたが、水素は様々なつくり方、貯め方、運び方がございます。それらについての技術開発を着実に進めていかなければなりません。このような発展、推進のためには、思いつきではいけないので、水素社会の実現に向けてロードマップの策定をしなければいけません。今年の春を目標に策定して参りました。

ロードマップ策定にあたって、昨年末から、水素燃料電池戦略協議会が招集されまして、ロードマップをどのよう

に策定するか議論が進められて参りました。メンバーとしましては、自動車会社、エネルギー会社、インフラの関連会社、学会関係、官・役所、そこから代表が出まして、様々な議論がなされました。

1つは、水素利用、サプライチェーンまで考えた、製造・貯蔵・輸送の構築が重要であるということになっています。今年の6月にロードマップが策定されております。3つのフェーズに分けられております。1つは、燃料電池の利用拡大が第一フェーズ。家庭用燃料電池、エネファームに加えて、業務用、産業用の燃料電池を市場に投入していく。2017年度をメドに進めて行こう。それから、2020年代から2025年頃をめざして、燃料電池車の普及・拡大を推進しようということ。1つは燃料電池車の燃費、燃料の費用がハイブリッドと同じくらいになるように燃費向上に努めましょうということ。2030年くらいには、ハイブリッド車と燃料電池車の価格を同じくらいにする。これはなかなか厳しい目標なんです。そう言う目標を掲げて開発を進めて行こうというのがフェーズ1になります。

フェーズ2としましては、水素電池の本格導入。即ち大規模な水素供給システムの確立を考えています。2020年代後半から2030年にかけての水素発電、大量につくって、大量に運んで、大量に使うというようなことを考えている。水素をつくる時に、オーストラリアには石炭になる手前の褐炭というものがあるのですが、それを原料(褐炭)として使うと、CO<sub>2</sub>が出る場合があります。CO<sub>2</sub>フリーの水素をつくる際に、そこでCO<sub>2</sub>が発生してしまうと仕方がないので、CO<sub>2</sub>を取り出して、それを地中に埋めるというCCS(二酸化炭素回収・貯蓄)という考え方で、CO<sub>2</sub>フリーの水素供給システムの確立しようということが、第3ステップ、2040年くらいにひとつの目標として、割と長い目で見たときのロードマップが策定されました。

(水素・燃料電池戦略ロードマップの図を示して)水素の利用であるとか、輸送・貯蔵、製造に分けて、年度別毎の目標が掲げられています。ここでは、政策上のそれぞれの目標。何年くらいまでに、どこくらいの目標にしましょうということで、お手許の資料にあると思いますが、家庭用の燃料電池の目標、その規模を大きくしたところの業務用・産業用の燃料電池の目標、それから自動車の目標、発電の目標というようなことを、2015、2020、2025、2030の年度別に目標を掲げて推進しているような状態です。

ここからは、NEDOの取り組みについてのご紹介になります。

NEDOのミッションですが、1つは、エネルギー・地球環境問題の解決。

もう1つは、わが国の産業競争力の強化ということが上げられます。経済産業省で政策的に立てられたものを事業に具体化して、産業界・大学の英知を結集してイノベーションを実現する。さらに大事なのは、イノベーションを継続して、イノベーションを産業化していく、そこが非常に重要な役割となっています。職員数としては、約800名。予算としては、1,500億円で、全体を動かしております。

1973年に第一次オイルショックがございまして、1974年に堺屋太一さんのサンシャイン計画が開始、1978年に第二次オイルショックがあり、日本のエネルギーをどうしていくのかがたいへん重要な課題として上がって参りまして、1980年にNEDOが設立されております。手始めに、太陽光、地熱、風力、バイオマス、燃料電池の開発に着手して参りました。開発に加えまして、1990年の半ばからフィールドテストを繰り返しております。導入促進事業を

行いまして、業務用の新エネルギーの初期市場の創設に貢献してきました。

例えば、定置式の燃料電池であれば、量産効果による低価格化、2016年に市場自立化をめざす。燃料電池自動車の導入。そのためには水素ステーションをどのように導入していくのかを検討。さらに新たな利用可能性の拡大、火力発電の高効率化、火力発電に燃料電池を用いるやり方であるとか、またエネルギーキャリアと言うことで、再生由来エネルギーをどのようにして運ぶか、例えばアンモニアにかえてタンカーに乗せて運ぶとか、有機ハイドライドにして運ぶとかございます。それと、家庭への給電、ヴィークル・ツウ・ホームということ。乗用車とバスで発電した電気を家庭に給電するというような技術開発をしまして、実証試験も行いながら、ものとして成立させて産業化していくという取り組みを致しております。

取り組みの概要として、まとめておきますと、1つは技術開発の推進。これが一番の大きな役割となります。その中で、市場環境の整備というとも必要になっていきます。まず新エネルギーとして、市場創出するという。社会基盤の整備ということもやって行かなければ、なかなか市場も育っていかないものですから、ルールの見直しであるとか、規制の緩和をやって行かなければなりません。それから、日本だけ独自に進めていてもダメで、国際協力・協調が問われてきます。水素エネルギーに関する国際的な枠組みに積極的に参画すると同時に、アメリカのエネルギー庁ですとか、ドイツ連邦交通・建設・都市開発省といったところの水素エネルギーを担当する部局と深いネットワークを構築して、日本の独自性を活かしながら、世界の中でどのように協調していくかが日夜進めているところで

す。  
(燃料電池・水素分野のプロジェクトの展開を示して)平成26年に、燃料電池本体の固体高分子形燃料電池の実用化。固体酸化物形燃料電池システムをすすめていたところ。これらを統合して固体酸化物形燃料電池の実用化につながった。

水素利用等先導研究開発も行われて、水素利用技術として、例えば、どのように貯めるのか、高压で貯める、液体で貯める、液体水素で貯めるかによって、その貯蔵技術とか、それと水素供給インフラが、当面たいへん重要な技術になってきます。それぞれにコスト低減策を進めていくとか、それぞれに予算規模がございまして。総額で言いますと、NEDO全体で、1,200億円、燃料電池に関しましては、約90億円。水素利用とかインフラ関係で約600億円。

水素社会実現に向けた3つのステップということで、まず1つ、水素というものがどういうものをみなさまにとって身近に感じてもらう、エネファームで水素を身近に感じてもらう。日本は世界で一番早く家庭用のエネファームを導入しているわけですが、そこで使う人が増えれば増えるほど、水素が身近かなものになっていく。水素はヒンデンブルグ号が爆発したような危ないものではなく、水素は実際には都市ガスとたいして変わらない、危ない使い方をしなければ、ちゃんと使えば安全だと言うことで、エネルギーとして使っていく。

2つ目は燃料電池自動車を普及させることによって、それと並行して必要な水素インフラを整える。

それと、その先にある大規模発電、水素発電、燃やして使うという、水素の量的な拡大をはかっていく。このような3つのステップを考えております。

まず、最初のステップ、エネファーム。都市ガスとかLPガスから精製して取り出します。空気中の酸素と化学反応

により電気と、同時に、発生する熱を給湯に使うということで、家庭用燃料電池システムとなります。東京では、テレビCM(キャラクターを採用)も展開しています。現在は、戸建て用のエネファームしかないのですが、マンションタイプも開発中ということでございます。エネファームの開発に向けて、どのような取り組みをしているかですが、このひと言に尽きます。「最後の一押しまで貢献」ということです。1つは、定置用燃料電池大規模実証事業が必要だと言うことで、家庭用燃料電池システムを住宅に導入してデータを取ることで、2つのタイプがありまして、固体高分子形タイプは3,307台。固体酸化物形は223台とがあり、実証を行いまして、データを取得しております。得たデータをもって、器機性能、信頼性の検証に役立てています。それと、いつまでも高いと普及しません。エネファームメーカー4社、東芝、ジェネックス、パナソニック、アイシン精機の協力のもとに、燃料電池本体と、それを動かすためのシステム部品がございまして、周辺機器も含めて必要な仕様を共通にしまして、それを公表して周辺機器メーカーの参画を促進してまいりました。エネファームのシステムを同じものにして、各社が同じものを使うということで、実はこれは画期的なことで、そこは各社の競争の部分なんです、各社が同じものを使うことによって周辺機器コストを約1/4に低減することを実現。平成20年度には、対象機種の約7割に、4社のもの(プロジェクト成果品)が使用されている状況でございます。

実際に、どうなってきたかといいますと、スタート時、770万円台であったエネファームのシステム価格が、200万円台くらいまで下がっている状態でございます。システムの共通化という、比較的、乱暴なことをした結果が現れているようです。

次に、燃料電池自動車と水素ステーション。この6月に、トヨタ自動車さんが2015年度内に、燃料電池自動車FCVを市販化しますと発表。どういう車かと言うと、ひと言で言うと、「究極のエコカー」という表現しかないのかと思います。出てくるのは水だけ、CO<sub>2</sub>もNO<sub>x</sub>、COも出ません。化学反応で得た電気でモーターを回すということです。熱で無駄に排出されることもないですし、エネルギー効率も高いです。1回充填すると、約5kgくらいの水素になるのですが、およそ3分位で満充填してしまい、これで500km走行。タンクは70メガパスカル、これは700気圧、水深で言いますと7,000メートルに耐えるタンクになります。超高压で充填しています。この燃料電池でつくった電気は家庭への給電も可能だということで、満充填だと一戸の家庭だと5日間くらい使用可能だということです。1ブロックの家庭の電気、一晩くらい使うのは十分に可能だということです。燃料電池車もバスになると、避難所、病院というようなものもまかなうことも可能になります。

よく言われるのが、燃料電池自動車と電気自動車とどっちがいいんでしょうか、と言うことがありますが、これからは燃料電池自動車も電気自動車も、もうなくなるんですよねと言われるんですが、私はそうは考えなくて、それぞれに使い方があって考えます。バッテリーのBEV、ハイブリッドのPHV、FCV(次世代自動車はFCVで大型・長距離を担うという図を示して)縦軸が車のサイズ、横軸が航続距離を示していますが、車として小さくて、航続距離が短いものはBEV。そして比較的車両が大きくて航続距離が長いものはFCV、燃料電池の車が担うということに、そしてその中間をつなぐものがHV-PHVになるのではないかと。(画面には)「2030年までに、新車販売台数の5-7割を次世代自動車に」とありますが、正直そこまでいくのかなというの

が実感としてございます。

自動車メーカーの取り組みの状況ですが、2015年には、2014年度内に一般販売がされると発表されているようですが、トヨタのFCVこれはモーターショーで発表されたもの、市販されるのは「ミライ」。ホンダは2015年にFCEV Concept、日産も2017年にはFCV販売開始を予定とあります。各社、それぞれ単独で開発するのではなく、開発費用がかさむので、国際的な共同開発がなされています。トヨタとBMWとの関係、日産とダイムラー・フォードの関係、ホンダはGMとの関係で、いずれも2013年に発表されて、国際的な共同開発が加速しています。この次のステップ、燃料電池の第二世代の燃料電池車が、この共同研究から出てくるのではないかとこのように考えています。

技術の進展でいいますと、私が燃料電池自動車の開発に関わった当初は、車両価格が、1台1億円するんですよとよく言われていましたが、当たらずとも遠からずでして、それが今回、車両として700万円ですというレベルまで来ました。正直、血のにじむような努力もありました。燃料電池車は、水素と酸素が反応して、水と電気が発生します。水が出るというところが、スタート時のウィークポイントでした。0°Cで凍ってしまいます。凍ってしまっただけでは使えません。北海道では使えません。それに対して、いろいろな工夫をしまして、マイナス25°Cまではいける、マイナス30°Cまではいける、実際には、マイナス40°Cでも始動するところまで開発が進んでいます。また、充填時間ですが、当初、3kgの水素を入れるのに3分かかったものが、5kgの水素を入れるのに3分となった。耐久性、車として考えたら重要なのですが、当初、1、2年かなと思っていたものが、15年くらいにまでに、このようなどころまで開発が進んでいます。

燃料電池の車を普及させるのに、一番大事なのは何かということですが、車をつくることではなく、車にどういふふうに入水素を入れるか。そこが非常に大切なところ。車が走ろうとすると、水素が必要。ステーションを運用しようとする、車がどんどん来てくれないとステーションが建てられない。そこはいわばニワトリとタマゴの関係だと見ております。例えば、ニワトリを自動車会社にして、タマゴをインフラ側としてみて、それぞれが睨み合いをして始まらない。自動車会社3社と、エネルギー事業者を担っている、JX日鉱日石エネルギー、出光、昭和シェル石油、コスモ石油、東京ガス、大阪ガス、東邦ガス、西部ガス、岩谷産業、大阪日酸の10社が共同声明を発表して、それぞれ協調してやっていこうということで、燃料電池自動車を2015年から市場に導入すること、それに先だって、ここがポイントなんです。まずは4大都市圏を中心に100箇所程度の水素ステーションを整備することを、共同声明で発表しています。首都圏、名古屋、大阪、北九州を中心に100箇所整備することで、ニワトリ、タマゴ論争に終止符を打ちたいということです。この先行する100箇所の水素ステーションが大変重要になります。

NEDOの取り組みですが、70MPa(700気圧、水深7,000メートル)という超高压水素への対応。水素としての難しさ、高压としての難しさがあります。ステーションを開くにしても、高压ガス取締法対応としてのステーションを開発しなければいけませんし、圧縮する技術を開発、いろいろな部品があります、それらの開発をしなければいけない。そうした技術を開発することが1つ。

2013年に、商用規模の水素ステーションを建設する。商用規模とは、1日に1台の車に水素を充填するというのでは商用とは言えません。1時間に3台、4台、それが1日

10時間来ても持つような水素タンクを持っていないと、それは商用とは言えない。そういう規模をもったステーションが必要であるということです。

(スライドを示して)これは、海老名市にある日本初の本格的商用使用の水素ステーションになります。実際に、商用ステーションとして開業したのは、今年の8月に尼崎に岩谷産業さんがスタートさせたものです。これは、ガソリンスタンドに併設しているステーションであります。商用使用のものとして建設しています。ステーションを建てるために、たいへんコストがかかります。そのコストとはどういう理由なのかを考えていくと、欧米に比べて日本の規制が結構厳しいものがある。1つは使える材料が大変限られていて、高い材料しかない。それから立地の条件、例えば水素保有量の制限があるとか、運営の規制、輸送上の規制、水素トレーラーに乗せていい運送用容器で使える圧力の上限が決まっていたり、水素ディスペンサーと公道との距離だとか、実際の、日本のガソリンスタンドからいきますと、それを満足させるのは限られたものになりました。こうした様々な規制の見直しを、民間だけでもなく、当然官だけでもつとまりません、そこは一緒に官民一体となって取り組む、安全を確認しながら、規制をひとつひとつ見直していくということになります。

実際には、46箇所の候補地が、平成26年度内ということで決まったということです。ここは首都圏、愛知県、大阪、それから九州、ちょっと広がって、山口県まで。まずはこれに着手していくことになります。それから規制の見直しと言うことで、先ほど、限られた金属材料しか使えない、そのために、安くて使える材料はないかと一生懸命探しているところで、九州大学水素材料先端科学研究センター(アイドルジーニアス)では、随分長い間やられていまして、水素物性・材料強度のメカニズム研究をされていて、評価機能を集約しまして、高压の水素、低温での水素がどうなるのか、材料評価をデータベースを整備していくやり方をしております。

(機器低コスト化のスライドを示して)様々な機器がございしますが、水素ステーションのシステムとしましては、出来た水素を貯めておく貯蔵設備、都市ガスから来たものを水素製造設備でつくり、圧縮して、畜圧して、ディスペンサーで送る。短時間で入れるために、燃料を冷やしておかなければなりません。プレクーラーでマイナス40°Cまで冷やしておくという仕方をしています。それぞれの機器をつなぐところには、バルブ、継手類があります。これら全てを、規制見直しと併せて、各要素機器の低コスト化を図り、部品としての低コスト化を図る。当初、全体で5億円くらいかかるかなというものが、なんとか2億円くらいまでに減らすことに。機器の低コスト化をはかっているところです。

我々は技術的に安全を担保してきていますが、いくら開発陣が安全ですと、このようなデータになりましたと言っても、それがそのまま世の中に受け入れられるかと言うと、それはそうじゃない部分いろいろあることは我々も思っています。では、何なのかと言うと、それは「安全からさらに安心」だと考えています。

まず1つにソフト面の対応。これからステーションがどんどん増えるということになりますと、これまでは比較的限られた人たちが運営していましたが、それをさらに増やしていくためには、車にエネルギーを充填する人、ノズルを持って車に挿す人がどんどん増えるということになります。そのようなオペレーターの教育であるとか、水素は危険ではないですよ、使い方を誤ってはいけませんよ

と、ユーザーのみなさんへの啓蒙。

そうは言っても、ハードとして、ヒューマンエラーは必ずありますので、それをどのように回避するかということ。それから社会受容性と言っていますが、データベースにまとめて、こうだと危険です、こう使うと安全ですとか、世の中への水素の安全性に対するアピールを、今後の活動としてやっていきます。

エネファームで水素の使い方の勉強をして、車で水素社会を立ち上げ、これをホップとして、次にステップとして、そして次にどうしていくのか。今後考えて行かなければならない。それがジャンプということになります。それは何かと言うと、1つは燃料電池の車両からその先にあるのは何かを考えること。家庭用燃料電池、燃料電池自動車、それぞれありますが、車だけではなくて、これはトヨタ自動織機さんで実際にやっているフォークリフトですが、フォークリフトとかバスの場合、ステーションを1箇所で作っておけばいい。例えばバスの場合、1日の運行が終わって帰ったら充填する。フォークリフトも同じ。ステーションをあちこちにつくっておく必要がない。このように使い方を広めていくやり方、それと、大量につくって、大量に使う水素発電。それから家庭用燃料電池の発展型として、業務用、工場であったり事務所で使える規模のもの、大きなエネファームをこれからつくろうと言うことで、今後、みなさんのところにお披露目される時期もくるかと思えます。さらにその先ということであれば、燃料電池で走る電車であるとか、水素発電であるとかになります。

(サプライチェーン構築のスライドを示して) ここではサプライチェーンということになりますが、海外での油田で出てくる随伴ガス、褐炭、そういうものを使って水素をつくる。例えば広い土地があるような場合、太陽光、風力を使ってつくる水素、それを有機ハイドライドに配合、液体水素にかえる。そして日本に運んできてそれを使う。水素ステーションに持ってきて車に使うとか、業務用に使う、水素発電に使う。また、水素できたものを都市ガス、LP ガスに戻して使うとか、パイプラインで運びます、圧縮水素で運ぶとか、使い方、運び方がいろいろあります。

目指すべき姿としましては、燃料電池の車だけではなくなかなか発展はしません。いろいろな省エネ技術がありまして、スマートコミュニティという言い方をしておりますけれども、例えば、マンション一棟分ですとか、住宅地全体を家庭用燃料電池を使うとか、民間型の電源にして送電線とはおさらばというような使い方、社会システムとしての導入と言うことになります。また、非常時の燃料電池自動車、バスの活用ということになります。

今後の取り組み(ここまでのものを少しまとめた形になります。)

水素・燃料電池戦略ロードマップにおけるフェーズ毎に課題が設定されます。

フェーズ1は、水素利用の飛躍的拡大でございます。定置用燃料電池に関しては、ある程度安くしていかなければならない。それからユーザーを拡大していく。日本国内だけでなく、国際展開、輸出していくことを考える。燃料電池自動車に関しては、700万円も出して補助金も付くと言っても、まだ片手くらいで決して安くはない。もっともっと普及して、ハイブリッド並みのコストにしていかなければなりませんし、水素価格も安くしていかなければなりませんし、水素ステーションの戦略的整備も必要になってきます。例えば北海道といった場所にも戦略的に必要としたりすることも。

フェーズ2、水素発電の本格導入、大量使用しましよ

うということになります。発電事業用水素発電を導入しないことには始まらないので、そのために、発電用の燃料に水素を部分的に入れるというやり方もありましてそれに関しては結果が出ています。ただ純水素をそのまま水素を燃料として使うと、水素の性質上、温度は上がるがカロリーは低いと言うことがありまして、少しタービンに工夫が必要です。水素発電のガスタービンの開発、海外からの水素供給に関する制度的な規制の緩和、技術的な環境整備が必要になってきます。

フェーズ3、たくさんつくるときに出てくる可能性のあるCO<sub>2</sub>。これをどう処理するか。つくるところでは二酸化炭素がたくさん出てくるが、日本で使うときにはCO<sub>2</sub>はないですというのでは、国際的に通用しませんので、もってくる先でのCCSをどうするか、まだだいぶ先の話しにはなりますが、いざ実際、その時になると、間に合わないということになります。

NEDOとしての取り組みですが、技術開発の着実な実施。頂点に敵なし。どこまでもつきまとう低コスト化。耐久性化、高性能化。これを支える計測・解析技術の基礎的な技術開発が整備されていくと、購入レベルもあがってくると思われます。それから水素エネルギーの利用拡大、これについては、今後一緒に注目していかなければなりません。そして制度上の問題があります。制度上の問題に関しましては、どのような要望が、産業界から出てくるのか。アンテナ高くして要望を吸い上げ、経済産業省に見直しの要望を出していくことになります。そのためには当然裏付けのデータが必要になります。裏付けのデータを取るところが我々の役割ということになります。

水素供給体制等のインフラ面の課題としまして、これに関しては、水素ステーション、水素を充填できればそれで良かったのですが、少量となると、ある町にある水素ステーションと、隣町にある水素ステーションでは、充填する水素の量にバラツキがあるということになってはいけません。それはどこに行ってもちゃんと計量が出来ているということ基準があること、どこに行っても同じ水素の品質だと言うことが必要になる。それからメンテナンスも必要なんです。今までのルールで行きますと、何年かに1回、水素のタンクを開けて、中を見なくてははいけないということでした。そんなことは出来ないものですから、どうやって簡易メンテナンスをやるか、運用上の基盤技術を開発していかなければなりません。それから安全性の更なる向上ということで、「安全から安心へ」を確保していく。

そろそろ終わりに近づいて参りましたが、水素社会の実現のためにということで、水素エネルギーは大変クリーンなエネルギーであることを繰り返して申して参りました。そして、それだけにクリーンなエネルギーとしての期待が高く、日本の産業界はこの分野での高い競争力を有していること。2030年には1兆円規模の市場が立ち上がり、2050年には8兆円に達し、2050年には世界全体で160兆円の市場規模になると試算されている。水素社会としては、どんどん伸びてゆくと考えています。それだけに、今、基盤部分を整備していく必要がある。日本の課題であるエネルギーセキュリティの確保、石油をほとんど輸入しております。水素をエネルギーにかえることでエネルギーを自力で持つことは大切です。それから環境対策、産業競争力の強化、この3つが大変重要だと考えています。

燃料電池の車の普及だけでは、水素社会が細々としか継続していかないので、水素を大量につくる、使う、そのところの利用技術の確立が重要。エネファーム、燃料

電池自動車に次ぐ第3の水素利用の柱として水素発電技術が有望であります。

拙い話してございましたが、以上で説明を終わりにしたいと思います。 どうもありがとうございます。

司会者) 吉積様、ありがとうございます。 ここで、会

## 講演Ⅱ:「北海道を水素油田に！再生可能エネルギーを活用した社会システムの構造改革」

株式会社 フレイン・エナジー  
代表取締役 小池田 章 氏

司会者) 2つ目の講演は、「北海道を水素油田に！再生可能エネルギーを活用した社会システムの構造改革」と題して、株式会社フレイン・エナジー 代表取締役 小池田 章様にご講演いただきます。小池田様は、HOYA 株式会社に入社され、株式会社電制を経て、2008年より現職に専念され、現在、札幌商工会議所エネルギービジネス研究会幹事、同環境・ローカルネット事務局長をなされています。それでは、小池田様、どうぞよろしくお願い致します。

小池田氏) フレイン・エナジーの小池田と申します、今日はどうぞよろしくお願い致します。

今、あらためて司会の方から、タイトルを聞くと、後々から考えると大袈裟なタイトルをつけたと、失敗したと思っているのですが、今日伝えたいことは、限られた時間にはなるのですが、北海道の資源を使って水素をつくり、儲ける社会に何とかならないかと、そう言う提案をさせていただければと思います。

配布資料にある写真のところから説明しますが、今日は、再生可能由来の水素を中心にお伝えしたいと思います。様々な水素を扱って北海道が儲ければそれはそれでいいのではと思っています。北海道を油田にして提案をさせてもらえればと思います。

この後、トヨタ自動車さんの方にお話しただけと思っていますので、私は、北海道に住んでいる立場からでのお話をします。

私の会社は、1999年から水素の研究開発を始めています。何度か、「水素がくるぞ」という、オオカミ少年のような話しがどこにもありまして、なんだかヒザが折れてしますということがあったのですが、トヨタ様が先頭を走っていらっしゃる、いよいよ本格的な水素の時代、これに乗り遅れずに我々もついて行きたいと、ここ数年活動を続けておりました。

最近、新聞記事を見ても、モーターショーに行っても、車をエコとかよりも格好いいという感覚で捉えている、すごく身近になってきたと実感しております。世代を超えてよく見られているこのマンガを見られたことないですか？「こち亀」。三週間前のジャンプですが、水素自動車がマンガの中では走っている時代が来ております。身近な感じで、燃料電池自動車の時代が来ているのかなと感じています。先ほど、NEDOの吉積様からの説明もありましたが、車はかなり身近になってきていると思っております。一方で、水素スタンドの普及が大変なんだよと、マンガの中でもその認識がありまして、ニワトリとタマゴかも知れませんが、いずれも必要な状態に来ていると思っています。北海道では、水素を燃料として、売って儲かっていくと、そのことがどうにか出来ないかという話をさせてもらいます。

車が先導することで始まっている水素社会生活について、水素社会をひらく、大きく3つのテーマが必要なのではないと思っています。くり返しになりますが、水素がクリーン

場からご質問をお受けしたいと存じます。ご質問のある方はいらっしゃいませんか？ある場合、挙手をお願い致します。それではご質問がないようでございますので、これで吉積様のご講演を終了いたします。

であれば高くてもいいと言う時代ではない。ある程度、手の届く価格、低廉で低炭素な水素、その水素をインフラにつなげるには、運ぶ技術。最後に、水素を使ったことによって、儲かった人たちが、便利だと言うような人が生まれる社会でなければ、満たされないのだと思っています。

私が話していることは、どちらかと言うと、主観に寄っていますので、意見は別々にあっていいとは思いますが、主観による提案をさせていただければと思います。いくつかテーマごとにお話したいのですが、私の会社、フレイン・エナジーという会社の紹介をさせていただきたいのですが、北海道の会社で、琴似に本社を置いています。社内ベンチャーであり、北大との共同研究から始めておりまして、会社自体は2004年につくっております。開発自体は、1999年から開発しています。有機ハイドライドという、水素を貯める技術を、1999年からものづくりを始めています。有機ハイドライドとは、水素を圧力をかけてボンベに貯める技術。液化水素とどう違うのかと言うと、水素という状態で貯めるのではなく、扱いづらい水素を一度、水素化合物に置き換える。トルエンに3H<sub>2</sub>の水素を付けて、気体の水素をメチルシクロヘキサンに変えましょうということです。メチルシクロヘキサンは聞き馴染みないかも知れませんが、修正液の原料です。ガソリンと同じ分類となるものですから、第4類危険物の第1石油類になり、既存のインフラで貯めたり、運んだりできる。それと同時に、気体の水素と違って、液体になりますので、経年変化もなく保存することができるので、大量に、もしくは長期間保存することに有利な技術だと思っています。

水素をくっつけたり、もう一度そこから剥ぎ取ったり、付けたりする装置が必要になります。我々は、そう言った装置を、水素をくっ付ける、水素とトルエンを有機ハイドライドに加工するプラントで、右側はもう一度剥ぎ取るための反応器です。こう言ったものをつくっている会社です。

私どもの会社は、設計をする会社で、ものづくりは地域の会社さんからエントリーしています。今は、小樽の会社さんと一緒に製造連携しています。この小樽の会社さんは室蘭出身の会社です。室蘭に感じるの、ものづくりの技術もある、大学もそうなんですが、北海道の中では特徴的な町だと思っています。我々の会社では、圧力容器とかも使いますので、室蘭にはこう言ったプラントを扱っている会社さんがあると聞いているので、出来れば北海道産のものづくりに特化していければいいのかと思っています。

水素を出したり、取り出したりする装置をつくっている会社です。そのことによって、有機ハイドライドは、タンク高圧35メガと書いてあるように、タンクより下にいけばいくほど容積が小さくなり、右にいけば重くなる、左にいけば軽くなる。左下にいけば、いくほど、コンパクトで軽く貯められるということです。水素5kgの時の容積を示しています。燃料電池車で、水素5kgを積みますと500km走りますと、5m×10m×1mの直方体の水素を、この気体を80リッターの大きさに変換してしまいます。それだけコンパクトにしますということです。

ちなみに、日本製鋼社さんと実証事業をやってきましたが、合金というのも、非常にメリットがあると思っています。

重たくなることから、船とか車椅子などには、その重たさもいいんでしょうが、車の場合、水素5kg積むために、合金を含めた重量は500kgになってしまいますので、人が乗れないとか、曲がれないとか、性能に支障をきたすかと思えますので、インフラとか、法律で求められる場合は、左下にいくほうが効率がいいのではと思っています。

水素をコンパクトに貯めてしまう方法を提案しておりますが、これに関するニュースについては後ほど紹介しますが、千代田化工さんがいろいろと提案をされているかと思えます。最近ですと、川崎市や秋田県と連携を組んでいろいろと提案されていますが、私どもは北海道の自治体と一緒に組んだり、むしろどちらかと言うと道内企業とリンクをはりながら提案を重ねているところです。

よりコンパクトな装置、変動する水素も帯同できる変動に強い装置というのをコンセプトにつくっています。そうした技術や装置を持っていることから、風力など、変動ある再生可能エネルギーを安定的な水素エネルギーにしよう、出来れば水素は燃料として外に売って行こうと言うことを中心に提案させていただいております。

モデル地域として、北海道の日本海側にある苫前町で、公開実験をしている様子です。

2008年には英国のニューカッスル周辺と政策連携を結びました。ニューカッスルはかつて産業革命が起こった地域で、蒸気機関が生まれた地域、石油化学と触媒技術があるんですが、時代とともに斜陽になってきて、新しい環境革命を基本に、もともと持っている石油化学、プラント技術の水素と言うものに置き換えて、再生させようじゃないかと、そう言った試みを持った地域と我々は技術移管をするという前提で、アライアンスを結びました。この潜在的欲求は、室蘭と似ているかも知れませんが、我々はものづくりをしない、工場を持たないメーカーですので、室蘭ともぜひ連携が取れるかと思えます。

ちなみに苫前町の風車なんですけど、水素貯蔵装置をトラックの荷台に積んでいますから、20フィートコンテナの中に、毎時30立米の水素を有機ハイドライドに置き換える装置、これを車に載せて風車の下に運んで現地で実験をしました。コンテナは横に3層に分かれています。手前が制御室、真ん中が反応部、一番奥がバッファ部分になっています。実際に反応させる装置は真ん中のみで、私が一人立って収まるのが反応器で、非常にコンパクトにできていて、車乗も可能で、移動も可能な状態で市販しています。

圧縮水素、液化水素、有機ハイドライドのどれが安いのかと言うことの表を、データをもらいながらカウントしています。

(グラフを示しながら)このグラフにあるように、液体、高圧、有機ハイドライドの順で、安くなっていきます。水素を10t/日を、50キロ先、100キロ先運びますということは、例えば、室蘭で出来た複製水素を100km先、札幌市に室蘭から売ると、運ぶと言うことになったときの流通コストと似てくるのかなと、有機ハイドライドが一番安く運んで売ることができるということです。(グラフを示して)ここであまり結論づいたことは避けて、有機ハイドライドが安くなるかと言うことの傾向が示せますということ止めておきたいと思えます。

ここまで、当社の特長、有機ハイドライドを説明させていただきました。

ここで、目線を変えて、北海道では、現状、エネルギーがどう言う状況にあるかを、みなさんの方が詳しい方も多いかと思えますが、一度、トンネルの逆方向から話

しを掘ってみたいと思っております。

2007年のデータをくり返し使っているところがあるのですが、北海道は化石資源に依存している地域だと、みなさんご存じだと思いますが、特に灯油ですね。東京のエネルギー政策の話の話を聞いたりすると、夏、冷房、電気。北海道の場合は、冬、暖房、灯油。エネルギー消費の構造が違うというか、これはある種、北方圏ということでは、同じエネルギーの目線を持っている方が多かったものから、熱を含めたエネルギー対策というものもどうしても重要になるかと思えます。

それと、光熱費の部分で考えると、北海道は石炭を売っているときは、儲かっていたと思います。外にエネルギーを売って、外貨を得ていたときです。今、灯油、軽油、ガソリンを中東から買ってくるという状態で、お金が外に漏れていっている。経済産業省から、北海道を1つの国とみたとき、外に売って儲けるお金が2,000~3,000億円で、食品を中心にした、あと自動車部品の売上があって、その一方、1兆円くらいのを北海道は買っていますと、その9割くらいは中東からでした。食品とか自動車部品をいかに一生懸命売っても、中東にお金を漏らしている状態。なので、エネルギーは環境ということも必要ですが、経済の循環が伴わないと儲かりようがない、使いようがないということ。値札だけを見て、100円、120円どっちが高い。120円だと思いますが、仮に120円が北海道の燃料であれば、これは経済の循環が伴いますので、外に漏れないお金にすれば、120円でも決して高くないようなことがあるかと思えます。安い水素を北海道でつくって、北海道で外に漏らさず、北海道が外貨信用を得るためにした場合、今の経済構造から循環して、経済効果がマイナスからプラスに転じますので、大きく変わるんじゃないかと言う期待があります。

安い水素を手に入れるためには、どうやってつくるかということがどうしても出てくると思うのですが、ここ新日鉄住金さんのように複製水素を持っているのであれば、それを使うと言うのも1つの方法だと思います。もう一つ、私どもでは、稚内とか苫前、日本海側の自治体と連絡を密にするのですが、北海道北部にある風力発電を設置している状況です。稚内から順に下りてくる感じですね。現状、プレミアム単価ということで、キロワット当たり11円75銭くらいで販売していて、その後、RPS法で、3円とかで安くなり、但しクレジットが付いたので、総合で9円~10円くらいで販売していた風力発電。これが最近では、固定買い取り制度になりまして、苫前町の場合は、1998年から売電。町営の風車なんですけど、600キロと1,000キロとありますが、ここが最初に立ち上げたときは、11円75銭で販売されていて、ここ数年高くなりまして、18円台後半で売電していますので、今は非常に収益が高くなっています。ただし、売電開始から20年で、固定買い取り制。その後は、北電との契約のなかで、限界価格で、いくらかかっても買っていくことができるので、高い料金が続くのは1998年から2020年、計算すると2018年まで高く買ってくれる。で、2018年移行はどうなるかと言うと、送電線がまだ太くありませんので、建て増しは出来ないと思えます。出来るとしたら、今建っているものを引っ込めて、新しいものに建て替える、そう言う状態はまだ出来ると思うのですが、風車は部品を取り替えていて、立ち上げは98年ですが、まだ回る風車なんです。なので、20年でこの風車を使って、他に新しい風車を建てますということになると、この風車も電気としては売れなくなってしまふ。この設備を維持していった場合、



安い発電単価で、水の電気分解にまわす電気が生まれてくるのではないかと思います。

北海道でも、青森県（八戸市）でも、風力発電が最初の頃、建って、北電さんなどの買い取り制限のなかで、送電線の太さ、強さの枠のなかで売電。初期の風車がまもなく、フィールドチェックでの売電期間を終えようとしている状況にあります。北海道北部の安い風車、まもなく売電期間を終わる風車を使って、水素をつくと、結構な量の水素がつくれます。5箇所分の風車をピックアップして、車、1万台くらい。室蘭は確か、数億立米の複製水素が出ていると記事で見たことがあるのですが、その数億立米を換算すると1万台分の燃料電池を供給できる規模を持っていると思うのですが、風車もそれに負けず、それくらいの規模を持つことができそうですね。こうした風車を苫前町を中心に、再生可能エネルギー水素、グリーン水素と言っていますが、グリーン水素を用いるプロジェクトを提案しようと思っています。室蘭市にも白鳥大橋にある稼働率の高い風車もありますので、室蘭には技術もありますので、一緒にトライできたらおもしろいかと思います。

水素をつくること、使うことを、地産地消の中から苫前町でやってみようと、ただし苫前町の地域のなかで水素を使って儲かるのではなくて、水素を外に売って儲かるので、地産外消に結びつけるのが目的です。なので、言葉が的確かどうかかわからないですが、水素油田。自分たちの方から出す、売って儲かるという仕組みにするためのキックオフのプロジェクトをやりたい。NEDOさんの方では、日本全体の大きなストーリーがありましたが、それに添ってというよりは、むしろ地域で出来る限られたことかも知れませんが、こう言うアクションを起こして、トンネルの小さな入口からでも掘っていかないと。4大都市圏しか車がこないというのは寂しいので、北海道らしいプロジェクトが出来ないかと考えております。その背景にあるのは、苫前町、人口3,600人くらい、一時期1万人まで行ったのですが、それは羽幌というところに炭鉱があったから生産人口も多くて、人も多かったのですが、（グラフを示しながら）北海道全体の人口が減っていく様子、それに比べると当麻町はかなり傾斜が急なのに分かるかと思いますが、室蘭もそういう意味では、近い傾斜かも知れませんが、地域が豊かになるためには、いくつかの資源をお金に換えて、人を定住させるということにしないと、なかなか地域は変わらないと思います。

稚内、苫前に行っていますと、言い方は悪いのですが、商社や大手の通信会社とかが一生涯懸命風力発電をやりたいと言う方がいらっしゃるのですが、固定資産税だけ落として、収入の大半は持って帰ってしまう、結局、場所だけ貸している状態になってしまう。出来れば自分たちがプレイヤーになって、出来れば地元の信金も国債を買うのではなくて、地元の企業や住民に対して出資還元して、経済循環として、資源社会を地元の人がプレイヤーになってやれる状況をつくらなければならない。もっと言えば、風車を建て替えるとき、日本製鋼社の風車はピアレスですから、30年も40年も持つのではないですか。とてもいい風車だと思っています。道内産の風車を使って、道内のプレイヤーが水素をお金に換えて、地元の地域振興と生産人口をある程度止めていくことに使えないかと、そんなことを考えています。

苫前においても、モデルプロジェクトをやるときに、地域との関わりを必ず持とうということで、町にお願いして、情報交換や月イチくらいで勉強会をやって進めています。そうした準備をする中で、苫前町では、栃木県日光市でD

HFCで実証事業をされている会社が水素ステーションを譲り受けて、苫前町と我々が関与しながら扱っています。これを北海道で使える水素ステーションにリメイクしたいと思っています。

先ほども触れたのですが、青森で関わったものも、ウチ建設だから関係ないよという方もいたんですが、実際には、水素よりその周辺のほうがお金がかかることなんです。このときも、1.5メガの風車を200本建てて水素をつかった。これも地産外産ですね。やはり地元で使って、8割くらいは東京で売ると。建設の場合もそうですが、結構な収益があがるが見えました。

（グラフを示しながら）NEDOの中間評議員をさせていただいたことがありますので、その時の水素の目標値が60円/立米だった、そのとき確かガソリンが160円だったと思いますが、燃料電池がハイブリッド自動車より安く感じるためには、水素がいくらだったらいいということ。今、ガソリンが160円なので、80円代後半でだいたいオープンくらいになります。80円/立米くらいになると、ガソリン車は高い、燃料電池車は燃料も安いとなります。80円/立米をどうやってつくるかにつなげて行きたいですね。そのためには、償却の終わった風車や安い電源をもとに、水素をつかった場合、苫前町のような町営の風車は3本で、2,200キロワットの発電量しかないのですが、町内に湯浅とJパワーの風車があって、足して42基あるのですが、52,800キロワットの発電容量があります。乱暴な条件ですが、それで水素をつくったら、補助金なしでカウントして、41.7円/立米、これに水素ステーションのコストが、20円くらい乗りますので、大体60円台後半くらいに。グリーン水素も安くできるかと。この条件をどうやって組み合わせるのか重要なのですが、ある場合によっては、洋上風車などで非常に安い電源が得られた場合、今立米当たり20円くらい。水素ステーションも40円くらいが可能。実現するにはかなり壁はありますが、試算上は可能な範囲ということ。です。

北海道の中では、風力と水素を別々に考えるのではなく、建て替える際には、20年間は電気として売ることを前提とし、21年目以降は水素、地元燃料として落とすとか、もしくは水素と電源、売電を2層重ねて水素をつくって、電力を売るとか、逆でもいいです。1,000キロワットの送電線に1,500キロワットのボトムアップした電力で、上の部分を水素を抜き取ったり、そうしたことをすると、送電線に対しても比較的安定供給ができますので、電力会社に依存した売電も業者が歩みよれることになるのかと思います。水素を何かのつなぎ手というか、遠からず近からずモデルケースは幾つか生まれてくるのかと思っています。室蘭でこういう機会をいただきましたので、技術の1つの提案を今後勉強していければと思います。

昨日、北海道大学の近久先生と話しをしてきたのですが、本格的な水素社会は20年かかるというコメントをいただいたのですが、20年後には本格的な水素社会が来ている可能性がある先生がおっしゃっているのだと考え、ワクワクしてきて、20年後なんて、あつと言う間にくるのかなと思って楽しみにしているんですけど、急に20年経つわけではないので、今始めようとしていることは、先行者利益を取るべきプロジェクトだと思いますので、こういったところに人と企業が集まってくるんですね。それを上手く利用して、地域と企業が加速しながらできればと思います。何らかのお役に立てればと思います。時間が過ぎましたが、以上で説明を終わらせていただきます。ありがとうございます。

司会者) 小池田様、ありがとうございました。ここで、会場からご質問をお受けしたいと思います。ご質問のある方はいらっしゃいませんか?ある場合、挙手をお願い

致します。ご質問がないようでございますので、これで小池田様のご講演を終了いたします。

### 講演Ⅲ:「燃料電池車へのトヨタの取り組み」

トヨタ自動車株式会社 流通企画部

北海道・近畿 地域統括部長 萩原 靖仁 氏

司会者) 次の講演は、「燃料電池車へのトヨタの取り組み」と題しまして、トヨタ自動車株式会社流通企画部北海道・近畿地域統括部長 萩原 靖仁様にご講演いただきます。萩原様は、1984年トヨタ自動車株式会社に入社され、2011年に同社流通企画部北海道・近畿地域統括部長に就任され、現在に至っています。それでは、萩原様、宜しくお願い致します。

萩原氏) こんにちは。只今、紹介いただきましたトヨタ自動車の萩原と申します。ご紹介いただいた内容で、流通企画部って何やっているんだ、こいつは何者なんだと言うふうにお思いになった方、いらっしゃると言うんです。それで、まさしく2011年に、弊社の次世代の環境車で用意していく中で、各自治体さんを含めていろいろな意味での支援をいただけないと、なかなか上手く進まないと言う観点もございまして新設された部署です。その中で、私、北海道担当ということで、今年で3年目になります。

それでは、私は技術屋ではないものですから説明もいささか拙いものになるかと思えますし、お聞き苦しい点多々あるかと思えます。それでは、リラックスして聞いていただければ幸いです。宜しくおつき合いいただければと思います。

それではタイトルにあります「燃料電池車へのトヨタの取り組み」と言うことに関して、説明をさせていただきますと思います。宜しくお願い致します。

まず初めに、トヨタの次世代環境車全体と言うことについて、紹介というか少しPRさせて頂きたいと思っておりますので宜しくお願いします。今、ご覧いただいておりますのが、自動車用燃料・パワートレインの多様化についてと言うことで、グラフをご覧いただいております。この図は、左側に様々な一次エネルギーを示し、そして中央がそれらを加工して作られる自動車用燃料、そして右側にそれらの燃料を使う自動車用のパワートレインを示しています。1次エネルギーにつきましては、当面は石油が主流であろうと言う観点から、その上部の石油を燃料とした従来車、あるいはハイブリッドのパワートレインの開発を、我々としては、グローバルな基礎基盤技術と位置づけ、さらに、現状に磨きをかけていきたいと思っています。また、平行しまして、その下側のガス燃料、バイオ、電気、水素、こう言った燃料の多様化に対応したパワートレインを、次世代の技術ととらえ開発を鋭意進めている最中でございます。その中で、現時点でハイブリッドに次ぐ次世代環境車の柱と位置づけておりますのが、ハイブリッドとEVを融合し進化させた車、プラグインハイブリッド・PHVになります。我々のPHVは、プリウスに、外部充電機能を追加するとともに、電池容量を拡大し電気だけ約25キロの走行が可能というものでございます。近距離の日中用電気だけで走行できて、充電した電気を使い切った後は、そのまま燃費のよいハイブリッドカーとして、安心してお乗り頂けると言うことがセリングポイントかと思えます。

続いて、EVです。EVには排気ガスを全く出ない、家庭で蓄電が可能と言ううれしさがある一方、航続距離、充電時間が長い、とりわけ急速充電インフラ整備といった課題と

言ったものがございまして、こう言う中で、我々はEVは近距離用途と割り切った使い方と言うことで普及していくのではと考えております。そして、今日は、少しお話をさせていただきますが、我々が近い将来の有力なエコカーと位置づけているのが燃料電池自動車FCVであります。我々は今年度中にご覧のモデルを発売。世の中に導入というのを考えております。FCVにつきましては、後ほど、詳細についてご説明申し上げます。

今、ご紹介したPHV、EV、FCV、いずれもトヨタのハイブリッド技術を応用し開発しております。(スライドを示しながら)この図は応用している技術を色分けして示したものであります。具体的には、ピンクのバッテリー、ブルーのモーター、グリーンコンピューターが3車に、共通する技術になります。多様化する今後のパワートレインに、短いリードタイムで、適時、適地、適車の対応が可能になると考えております。トヨタのハイブリッド技術をコアに、当面の開発にリソースを重点配備して、地球環境にやさしい持続可能なモビリティ社会を一刻も早く実現していきたいと思っています。

それでは、EVとFCV、それぞれの優位性について少し触れさせていただきます。グラフは縦軸にシステムコストを、横軸に航続距離をとって、EVとFCVの特性を示したものです。グラフの右上に近づくとともに、航続距離が長くなりますが、システムコストも高くなることを表しています。FCVの燃料、すなわち水素。これはEVの燃料バッテリーに比べエネルギー密度が高く、航続距離を確保するために水素タンクの容量を増やしても、バッテリーほど極端なコスト増につながりません。従って、先ほど申し上げた近距離にはEVが優位、中長距離にはFCVの方が優位と言うふう考えております。

(図を示しながら)この図は、将来燃料パワートレインについて、縦軸が車両サイズ、横軸に移動の距離で整理したものであります。現在の乗用車と同等の大きさ、同等の移動距離が必要な車については、グラフ中央、うすい緑色の部分にお示ししたハイブリッドやPHVが適していると考えています。その際、地球環境を考慮し、バイオ燃料などのCO<sub>2</sub>排出量の少ない液体燃料の普及ということも重要になろうかと思えます。また、この図の左下に示すピンクの部分、比較的小さな車においては、電気自動車が活躍するのではないかと思います。そして、水素燃料は図の右側の青色の部分、比較的大きめの乗用車でありまして、バス・トラック等の中長距離用途にご利用いただけるのではないかと思います。

続きまして、我々トヨタの燃料電池自動車FCV開発について、少しご紹介させていただきます。

ご覧いただいております、図の通り世界の各メーカーもFCVの開発を鋭意推進しております。単独ではなく他のメーカーと連携して推進しているようです。我々は、単独ではありますが、今年度中の導入というものにおいて、今、準備を進めているところでございます。

それでは、FCVにお乗りいただけるお客様のうれしさという観点から少しまとめさせていただきます。

5点ほどございますが、特にポイントになっていくと思われませんが、①③⑤の3項目かと言うふうに思っています。1つ目ですが、走行中のCO<sub>2</sub>排出ゼロ、すなわちゼロエミッションで、地球環境に対して、極めてやさしいと

いう点。次に、③であります。災害時等の非常用電源になること、供給能力につきましてはEVの4-5倍以上ということになります。この点は後ほど少しご説明申し上げます。そして、⑤に示しましたエネルギーの多様化への対応ということが上げられます。

また、我々グループの少しPRになりますが、燃料電池に関する技術ということに関して、地球環境にやさしい持続可能なモビリティ社会を実現する。究極のグリーンエネルギーと位置づけておまして、乗用車の他に、日野自動車でもFCバス、またアイシン精機で家庭用燃料電池、コージェネレーションシステム。また先ほども少しご紹介がありました。トヨタ自動織機のFCフォークリフトと言った多方面にわたっての研究開発にも取り組んでおります。FCバスについても、これまでご覧いただいているような実証実験を重ねておまして、2016年には、日野自動車の国内への導入が予定されていると聞いております。

FCVの今後の展開になりますが、我々はFCVの普及に向け、今年度からまず水素供給インフラの整備が見込まれている4大都市圏。具体的には、首都圏、近畿圏、中京、北部九州というふうになりますが、ここを中心としてセダンタイプの乗用車の導入を開始を致します。また2020年代から予測されている本格的な普及期には、年間数万台規模で市場に普及できるFCVを重要な領域と位置づけて、開発を進めております。

次に、燃料電池のシステムを簡単にご紹介いたします。先ほど、触れましたように、FCVは燃料電池技術のみならず、モーターですとか二次電池、パワーコントロールユニット、これまで我々が培ってきたハイブリッド技術を融合させた車となっております。

FCVの開発は、発展効率向上と小型化を両立しながら、進められております。燃料電池そのものであるFCスタックにつきましては、2008年に開発したトヨタFCアドバンスと比較しまして、出力密度を2倍以上に向上させることができました。また、システムそのものを小型化し、本年度発売するFCVでは、シートの下へ配置を実現することができました。それでは、一部開発の状況について、映像をご用意しましたのでご覧ください。

(映像が流れる) 今、車に乗り込みまして、システムを始動させているところでありまして。只今、ご覧いただいたのは、積雪雪寒地域で具体的にトヨタの持っている試験場でありまして、マイナス14℃と温度計にあったように極寒の地区での始動性についても、十分確認を進めております。また、カナダ北部ではさらに厳しいマイナス30℃を超えるところでの始動性の確認も終わっております。そういうことでは、低温下でも使始動性ということではデータは十分確認しておりますので、ご安心いただけるかと思っております。

続いて、FCV普及の可能性と、役割について、バックグラウンドについてご説明申し上げます。

現在は数多くの自動車が世界中で使われるように参りました。それとともに我々メーカーが避けて通れない課題というものが出ております。具体的には、自動車を取り巻くエネルギーおよび環境についての課題です。最近いろいろなどで、よく話題になっております石油の将来への不安。CO<sub>2</sub>の増加による地球温暖化。また大気汚染の増加ということに対応することが不可欠だと考えられます。

また、2050年には、世界人口は、96億人に達すると言われております。その70%が都市部に集中。また、世界のGDPは3倍以上に拡大するのでは、と予測されております。温暖化、大気汚染、交通渋滞等、環境問題がさらに変化してい

くと思われています。

少し、見にくい図になりますが、先進国、後進国を問わず、GDPと移動距離比例の関係があることを示しております。今後の経済成長に伴い、交通移動ロスが、ますます増加すると考えられ、エネルギー事情がますます増加するということにつながります。移動に使われるエネルギーの大半は、現在、ガソリンや軽油、それらは原油を精製して、製造されております。現在、我々日本は、原油の99.6%を海外から輸入。その85%が中東の産油国に依存しています。これはわが国の、原油輸入額と輸入価格の推移をグラフに表しています。棒グラフでは原油輸入額、折れ線グラフでは原油価格、2008年のオイルショックは記憶に新しいと思いますが、ほんの10数年前、輸入額3-4兆円に対し、16兆円を超えてきました。年間12兆円もの国の富が産油国へ流失したということになります。また2003年から、10年間で国家予算にも相当する富が流失していることにもなって参ります。2008年、リーマンショック以降、一時的には減少したものの、この傾向はもとに戻っているのが現状です。

次に、中長期的に考えた時に、石油の将来の不安については、左のグラフに示したように拡大し、新興国の消費の拡大などにより潜在的な需要の増加により、供給が追いついていかないという状態になっていくと考えられます。そのため、右側のグラフが示しますように、将来は様々な石油代替燃料が拡大していくと考えています。もちろん、今日明日と言う急激な変化ではなく、暫くは石油が自動車燃料の主流であるのは変わらないと思いますが、徐々に多様化というものが進んでいくと考えています。ゼロエミッションという課題にも、同心体が出来るという意味で、電気、水素、石油代替エネルギーも有力な重要な候補になりうるわけです。ここで先ほども申し上げた、FCVの役割として注目されている外部充電機能について、少し触れさせていただきます。FCVは、同じサイズのEV、HVと比較して、電源供給量が多いことから、災害時における移動電源車としての期待も大きいものがあると考えます。今年導入されますFCVには、外部電源供給機能を設定し、車と社会をつなぐ給電という付加価値を、PHV、EV、一部のハイブリッド車よりも高いかたちで提供できるようにしていきたいと考えています。

これは将来のモビリティ社会を支えるエネルギー需要のイメージを図示したものです。化石燃料だけに頼らず、再生可能エネルギーなど、CO<sub>2</sub>の少ない電気や水素、これらが共存し当たり前のように利用されている社会、我々はこうした社会の中、お客様のニーズに応じタイムリーに提供していくことが使命と考えております。FCVを開発してきた意義は、まさにここにあると考えています。最後になりますが、FCVの導入にあたって、社会全体が取り組んでいくべき課題に関して、少しお時間をいただければと思います。

申し上げたい課題と言うのは、この3つと考えています。

1つ目は、水素を車両に供給する水素ステーションが広く普及していないと言うインフラ整備の課題。また、FCV普及に向けては、車両のさらなるコスト低減が必要不可欠であるということでもあります。限定リリースしていた先代のFCアドバンスでは、まだ1台当たり1億円でありましたが、今年度、導入する車両については700万円程度ということまで、引き下げることが出来ました。しかし、本格的にお客様にお買いいただくということを考えますと、通常のハイブリッド車と同等程度に引き下げていく必要があると、十分認識はしておまして、これらの取り組みを鋭

意進めているところではあります。また、先ほど申し上げたFCVの外部充電機能、家庭の燃料電池を活用した災害にも強いインフラ、ライフラインをモデルとして構築していくことも、水素社会を進めていくためには必要であると考えております。

少し詳細になりますが、課題の1つ目に上げた、水素ステーションの普及見直しについての現状についてお話させていただきます。水素ステーションの展開にありますように、2011年にインフラ事業者と自動車メーカーが国の後押しの中、FCV導入と水素インフラ整備に関する共同声明を発表し、15年度までに水素ステーション100基の設置を目標に掲げました。

またステーションの技術開発。低コストのステーションをインフラ業者のみならずにも開発いただくことが、普及の後押しになると思っております。そのため、規制見直し。水素ガスの規制に関する見直しについて、諸外国の事例も参考とし、安全、安心を担保しながら適切水準に見直されることを、我々としては期待をしています。燃料電池、水素供給インフラ規制見直し検討項目については約15ほどあり、その中で、今現在で2項目について見直しがなされていると聞いております。燃料自動車の本格普及に向けては、災害対策など社会的必要性を認識していただくことに加えまして、それぞれの事業者、エネルギー会社、我々メーカー、そして何よりもFCVをお使いいただくみなさまに、その全ての方々にもメリットを享受いただけるかたちを実現できることを、思っております。そのため、そのモデルづくりを、是非東京を始めとする4大都市圏、これはもとより北海道でも、水素に関して関心も高いと伺っております。この室蘭で、検討が着手されることを期待して止みませんし、我々としてもできる部分の協力は是非していきたいと考えています。

(図を示して)先ほどご覧いただいた、将来のモビリティ社会を支えるエネルギー利用のイメージをご確認いただければと思います。当面、それぞれのエネルギーの利点を活かしつつ、環境に低負荷となるよう有効利用する。そう言うかたちでの持続可能な社会への転換というものを、みなさまと共に感じ取っていただき、この世界の日でも早く実現をめざして、我々も一生懸命車の開発を進めていければと思っております。

以上で終わりとなりますが、本日申し上げたことを簡単にまとめさせていただいて、締めとさせていただきます。

第1であります。我々は次世代環境車の中で、FCVはEVとPHVと棲み分けをしながら、普及を図っていくものと思っております。その中で、FCユニットの開発につきましましては、着実に推進を進めて参りました。今年度中には、みなさまの実社会に提供できるところまで進んできたと思っております。

今後の課題ということにつきましまして、メーカーとしては、さらなるお求めやすいコスト低減に向けて取り組むことに加え、水素インフラの整備を始めとしまして、社会全体

として、水素社会の実現の諸課題に取り組みを進めていくことが不可欠と思っております。

以上で、私からの説明を終わらせていただきます。ご静聴ありがとうございました。

**司会者)** 萩原様、ありがとうございました。ここで、会場からご質問をお受けたいと存じます。ご質問のある方は挙手をお願い致します。

**質問者)** 質問を1点させていただきます。私は、北海道に水素ステーションを持ってこれないかということで、各地方とかに提案しているのですが、小規模の水素ステーションを地方に置きたいと思っています。そうした中、一般の消費者が車を買うということは想定しにくく、水素ステーションの周りに、10台とか20台のFCVがぶら下がっているようなかたちになっていることを考えています。ディーラーさんに対応していただくよりは、リース会社を挟んだほうが、メンテを含めて管理できるのかなと想像していたのですが、FCVのリース会社への提供というのは考えられるものなのでしょうか？

**萩原さん)** 私どもメーカーとしては、販売店さんと関係というものがまず1つあります。販売店さんの中でも、トヨタレンタリースさんもありますし、ご質問のあったリースはどうかということですが、私は十分対応できるかと思っております。そう言う意味では、いろんなビジネスモデルを考えていく必要があると思っておりますし、いろんなご提案があれば、ひとつ一つ真剣に受け止めて、検討を進めていきたいと思っております。

先ほどの説明の中でも触れましたが、本格的な普及は2020年代と申し上げました。技術的な部分では、考えられ得る状態は想定し、確認も進めてきています。全世界を200万km以上走って、いろんな状態を確認していると聞いています。それでも尚かつ、将来的に世に出していいかと言うと、全く初めての技術ではありますし、慎重により慎重を期したいと、水素タンクでありますとか、スタックですとか。

正直言いますと、導入は致しますが、すぐ何万台かと言うことはない。ひとつ一つを確認しつつステップを踏みたいと思っております。そこは慎重に進めていく必要はあろうかと思っておりますし、そうしていきます。これは6月に弊社の加藤副社長も話しをしていることではあります。ひとつ一つ、確実に積み上げていかないといけないタイミングだと思っておりますし、この慎重さは変えません。そう言う意味では、どう言う使われ方がいいのか、FCVの持っている可能性を、マーケットのみなさまの耳に傾けながら、やっていきたいと考えています。ご要望、ご指摘があったら、供給の仕方とかは十分考えていける余地はあろうかと思っておりますので、アドバイスいただけるとありがたいと思っております。

**司会者)** ありがとうございます。他にもご質問されたいという方がいらっしゃいましたら挙手をお願いします。萩原様にご講演いただきました。ありがとうございました。

#### 講演IV:「炭素ナノ素材を活用した燃料電池用電極触媒の開発と高性能化」

室蘭工業大学 暮らし環境系領域・応用化学ユニット  
准教授 田邊 博義

燃料電池には多くの利点があります。燃料電池は使用する電解質によって分類されていますが、ここでお話したいのは、固体高分子形の燃料電池です。普及の拡大のためには、高性能・長寿命化とさらに低コスト化が課題となりま

す。

私たちの研究室で行っているのは、一つは、FCで電流を生み出す場を形成している触媒材料の開発と触媒側界面での動作機構の解明です。もう一つは、固体高分子形電解質膜側界面の設計です。現状のFCが持つ大きな課題の一つが、水管理システムが必須ということ。酸素ガスと水素ガスだけをもってきて、それで発電できるかという、発電はできません。現状のパーフルオロスルホン酸系固体高分子膜は、ガスの加湿で初めて動作します。水

管理システムの必要ない電極触媒/電解質界面系を構築するためには、どうしたらいいか研究をしています。

現状のパーフルオロスルホン酸系固体高分子形 FC の最高温度条件は、程度の差はありますが、電解質膜が耐えられる温度、80℃くらいまでです。それ以上になると特性が完全に落ちてしまう。高性能化のためにはそれ以上の温度で発電する必要がある。そうするとどんな利点があるかと言うと、反応速度が上がる。反応速度が上がると電流を大量に取り出せるということになります。また、触媒としての白金が不要、あるいはその使用の大幅な低減化が可能になります。白金は車の触媒だけに使われるのではありません、装飾品にも医薬品にも必要ですし、他の環境浄化用触媒と言ったものにも使用する必要があります。作動温度を高くできると、反応には白金触媒の使用量の低減化が可能となり、高純度な水素を使わなくても、多少CO等の不純物が入っていても効率的に動作させることができます。また、反応によって生起する水が電極触媒界面に貯まってしまうというフラッドイング、ドライアウト、凍結などのいろいろな問題をクリアできます。

研究室では、炭素ナノ材料を使って研究を実施していますが、炭素ナノ材料を設計するところから初めています。単層CNT、多層CNT、グラフェン(G)、高機能化カーボンブラック(CB)をつかって、FC用の電極触媒とします。炭素というのは、もともと水を弾くものですから、それを濡れるようにして高性能な触媒用インクをつくらなければなりません。

その他、分散液を利用するとセンサーを作製することも出来ます。作製したセンサーによる金属材料での水素イオン濃度の局所分布図です。さらには、バイオ燃料電池用の電極触媒にも使用しています。

FCには酸素極と水素極とがありますが、酸素極で起こる酸素還元反応には、大きな電圧、要するに大きなエネルギーが必要です。酸素を還元する場合、一般には、酸素を還元してそのまま水になるわけではありません。直接水までいかずに、その中間体である過酸化水素種というのが出来てしまいます。これは強い酸化力をもっており、触媒活性および界面特性の劣化を招くことになります。

(酸素還元反応は、反応過電圧が非常に大きい。エネルギー変換効率の大幅な低下を招く。高い電気化学的触媒作用による4電子反応で進行する触媒系を開発したい。4電子反応だと高い効率を達成でき、触媒毒を生じない。)

そのためには、反応電子数の増加、Onset Potentialの向上(アノード側へのシフト)、活性化支配電流の向上、交換電流密度の増加、有効電極面積の増加が必要要件となります。有効電極面積の増加というのは、幾何学的面積ではなく、実際にどれだけ働いているかという面積で、これを定量的に把握する必要があります。これを増加させ、先に述べた諸々の条件を満たす金属を使わない触媒材料の開発が、FCの開発・高性能化を考える大きな柱の一つと言えます。もう1つは、無加湿、中温域で作動する電解質膜です。だいたい100℃から200℃くらいの間で、働く固体高分子形電解質膜。それを用いて、MEA(膜電極接合体)を作製します。研究室での燃料電池の開発は先程述べたような金属を使わない、Metal-Free触媒を使った水管理システムがいらぬ無加湿中温作動型固体高分子形FCを目指して研究を実施しています。

電解質膜については、パーフルオロスルホン酸系固体高分子膜をデュボン社、旭化成と旭硝子がつくっていますが、FC用だけでなく電解用などにも使用され、実用化されています。これを次世代型FCの電解質膜に使用すると、前

にもお話ししたとおり、加湿、冷却等の水管理システムが必ず必要なため無加湿・中温では使用できずさらに白金系の触媒が必要となります。それらが装置を大きく複雑にしています。使用する燃料の水素ガスにも条件があります。こちらは、パーフルオロスルホン酸系膜と異なる最近研究されている膜です。いわゆる無加湿・中温動作が可能な固体高分子形電解質膜です。リン酸をドーブし導電性を持たせて使用します。膜の動作温度は、約100℃以上でも可能です。リン酸の沸点は150℃強くらいですから、それ以上になるとリン酸が漏出していきます。そうすると導電性能が低下してしまうので、それを防ぎ、導電性を最大限に維持できるような工夫が必要となります。このような問題を解決することにより、反応速度は上がり、より大きな電流を取り出すことができます。また、動作温度をより高くできるため燃料には多少の不純物が含まれていてもよく、燃料選択の自由度が上がります。最大のメリットは白金の支配から脱出できると言うことです。

CNTやG等の炭素ナノ材料は、その表面にいろんな官能基を持っています。それらの官能基とリン酸あるいはリン酸基含有化合物で炭素ナノ材料を修飾し、リン酸ドーブ固体高分子形電解質とコンポジット化することにより合目的な高性能な膜を設計しています。

Meta l-Free酸素電極触媒は、結局炭素を触媒のベースにしています。炭素をベースにする理由は、炭素は化学的に安定で、導電性が良好で、界面での電子移動速度が速く、その結果、電極反応速度を向上させることができます。例えば、CNTやGなどを利用して電極触媒を設計すればこれらの素材は反応サイトが露出しているので触媒表面の利用効率が上がります。白金や他の金属の代替なしで高性能な触媒をつくるのが可能になります。

研究で着目している炭素ナノ素材は、G-NR/CNT、G-NR/CB等です。G-NRは、グラフェンナノリボンの略で、CNTの側壁部を一部開裂させ作製したものです。これを他の炭素ナノ素材とコンポジット化して触媒を設計します。

CBはCNTやGに比べて付加価値が低く見られがちですが、CNTやGと同様にいろいろな表面修飾による高性能化ができます。CBを酸化して、表面上にナノリボン、ウォール状のものを形成してGと反応させます。その後、窒素ドーブによる高性能化を行っています。アンモニアガスで処理するのが一番簡単ですが、含窒素導電性高分子あるいは含窒素自己集積型化合物で所定の炭素ナノ素材を被覆し、それらを処理する方法です。どのサイトにドーブされた窒素が一番有効なのかを把握するため、窒素のドーブ法について検討しています。

窒素をドーブした触媒に他の非金属酸化物や非金属物質をコンポジット化して高性能化を図る研究も実施しています。これらのナノコンポジット触媒をFCに適用するためには、合成したコンポジット触媒粉を高分散したインクに仕上げる必要があります。インク化は、なかなか難しく1つのテーマになるくらいです。インクを用いた試験電極を調製した後、電子移動速度を測定し分類します。次に、実際にFCを構築し、特性を評価します。FCの+極では酸素還元反応が、一極では、水素の酸化反応が起こります。どちらかの反応速度の遅いほうで特性が律速、支配されてしまいます(酸-水素FCでは酸素極)。従って、律速側の電極触媒側界面および電解質側界面に着目する必要があります。

FCの特性を支配する酸素極触媒に研究している炭素ナノ素材のSEM像の説明。(CNT、G-NR/CNT、G-NR/CB等)

G-NR/炭素ナノ材料はバイオ燃料電池系にも有効で、こ

これはその模式図です。燃料にはグルコースを使用します。触媒の調製法は、MWCNTの部分的酸化処理によりG-NRを側壁部に形成し、遠心分離器で分級して所望のG-NR/MWCNTを分離します。そのようにして分級したものを分散インクに調製し、これまでと同様に電極化しそれぞれの特性を調べています。

これは、G-NR/CBとGとのコンポジット触媒設計のモードイスク電極法(RRDE)を使って定量的に評価しています。普通、4電子反応と2電子反応過程がまざっているため、反応電子数が3.5とか3.8とかの値になります。ここに一例を示しています。金属を使っていないG-NR/CBとGをアンモニアガスで処理した電極触媒系で現在、3.7くらいの値を達成しています。ちなみに、白金系はこのような値を示します。

CNTのうちで、配向性CNTは有効です。長さや太さが揃っているため、試験材料の作製には最適です。

これらの作製した触媒をMEA化してFCに組み込みます。MEAは、電解質、触媒層、MPL層をもったガス拡散層のカーボンペーパーの順に配置したものをホットプレスして作製します。これは片面だけを模式化して書いたものです。FCのカソード側およびアノード側に所定のガスを所定流量でそれぞれ流し発電します。この時得られた発電特性とMEA作製における化学的・物理的条件との関係を定量的に把握しMEAを評価しています。

PBI電解質膜は先に説明したように大変優れた特性を持っています。しかし、リン酸をドーブして使用するため動作温度が上がり過ぎると漏出してしまふという致命的な欠点があります。それを防ぐのに2つの方法で研究を実施しています。一つは、リン酸を単純に閉じ込める方法、リ

図です。まず、CBは先ほどのものを使用し、酸化処理によりG-NR/CBとし、インク、分散液にします。これとある種のGを利用してコンポジット電極、直接4電子還元による酸素還元反応を達成する触媒づくりを目指しています。

触媒の評価は、まず、CV特性を測定し、次に、反応機構を、つまり、過酸化水素を経由する機構か、あるいは直接4電子還元で水まで進行する反応かを回転リングデン酸と無機物質とのコンポジットをつくる方法です。もうひとつは、炭素ナノ素材を所定の官能基で修飾しPBIとコンポジット化させて所望の固体高分子形電解質膜を設計する方法です。研究室で行っている方法を簡単に紹介します。

合成したPBI粉を、有機溶媒に溶解させたものです。これと所定の修飾を施した炭素ナノ素材とをコンポジット化した電解質溶液を膜化してMEAに仕上げます。また、電解質調製溶液として、PBIとイオン液体をコンポジット化したものについても研究を行っています。特性の一例です。分極をし始めると起電力は低下しますが、比較的大きな電流を取り出せています。電力特性のピーク値をもたらす電流値のところまで運転するのが、最適な電力ということになります。

いま、興味深く検討しているのは、リン酸やホスホン酸基で修飾したナノ素材やそれらの官能基をもった化合物とPBIとをコンポジット化あるいは共重合した電解質膜です。これらは、特徴ある有効な特性を示すことを見出しています。以上のように、私たちは電極触媒側界面、電解質側界面からメタルフリーな無加湿中温作動型FCの開発を行っています。以上です。

## 【平成 26 年度 共同研究等事業実績】

共同研究プロジェクト

民間等との共同研究

受託研究

プレ共同研究

展示会出展助成事業

技術相談件数

研究経費及び件数の推移





## 平成26年度 共同研究等事業実績

### 共同研究プロジェクト(客員教授プロジェクト研究)

※研究代表者

NO	研究題目	大学側研究組織	民間機関等研究組織
1	使用済み核燃料輸送・貯蔵容器に使用される鋳鉄材料の開発	※もの創造系領域 教授 清水 一道	近畿大学 理工学部 機械工学科 教授 木口 昭二
2	有珠山の噴火予知と地熱エネルギー開発に関する実践的研究：CSAMT法電磁探査による有珠山深部の地殻構造探査	※くらし環境系領域 准教授 後藤 芳彦 くらし環境系領域 准教授 有村 幹治	(有)ネオサイエンス 社長 城森 明
3	環境負荷を低減する汎用型高炉セメントの創生ーコンクリートの強度発現性と耐久性の評価ー	※くらし環境系領域 教授 濱 幸雄 くらし環境系領域 准教授 菅田 紀之 くらし環境系領域 助教 岸本 嘉彦	日鉄住金セメント(株) 製品開発部 品質管理課長 佐川 孝広
4	積雪寒冷地域における道路構造物の高度化・長寿命化に関する研究	※くらし環境系領域 准教授 小室 雅人 くらし環境系領域 講師 栗橋 祐介	(株)構研エンジニアリング 常務取締役 川瀬 良司
5	無人航空機搭載用可変指向アンテナの研究	※もの創造系領域 教授 上羽 正純	(株)国際電気通信基礎技術研究所 波動工学研究所 主任研究員 北沢 祥一
6	有機繊維シートを用いた既設鋼構造物の補修・補強工法の開発に関する実験的研究	※くらし環境系領域 講師 栗橋 祐介 くらし環境系領域 准教授 小室 雅人	三井住友建設(株) 技術開発センター 三上 浩
7	航空機ジェットエンジン耐酸化コーティング手法としてのアルミニウム・ニッケル複合めっきの開発	※もの創造系領域 准教授 佐伯 功	(株)ディ・ビー・シー・システム 研究所 研究部長 吉岡 隆幸

### 民間等との共同研究

NO	大学側研究代表者	件数			
			15	もの創造系領域	教授 佐伯 功 1
1	くらし環境系領域 教授 土屋 勉	1	16	もの創造系領域	教授 上羽 正純 1
2	もの創造系領域 教授 清水 一道	13	17	しくみ情報系領域	教授 永野 宏治 1
3	OASIS(環境・エネルギーシステム材料研究機構) 特任教授 香山 晃	1	18	くらし環境系領域	教授 大平 勇一 1
			19	くらし環境系領域	准教授 小室 雅人 7
4	しくみ情報系領域 准教授 渡邊 真也	2	20	OASIS(環境・エネルギーシステム材料研究機構)	1
5	もの創造系領域 教授 世利 修美	2			
6	くらし環境系領域 教授 濱 幸雄	4	21	くらし環境系領域	助教 馬渡 康輝 1
7	もの創造系領域 講師 松本 大樹	1	22	もの創造系領域	准教授 岸本 弘立 1
8	もの創造系領域 教授 相津 佳永	3	23	もの創造系領域	教授 風間 俊治 1
9	CRDセンター 准教授 古屋 温美	4	24	もの創造系領域	准教授 花島 直彦 1
10	航空宇宙機システム研究センター 教授 東野 和幸	4	25	しくみ情報系領域	准教授 梶原 秀一 1
			26	もの創造系領域	講師 長船 康裕 1
11	もの創造系領域 教授 河合 秀樹	2	27	もの創造系領域	准教授 廣田 光智 1
12	もの創造系領域 准教授 境 昌宏	2	28	くらし環境系領域	教授 中野 博人 1
13	しくみ情報系領域 教授 福田 永	1	29	くらし環境系領域	教授 溝口 光男 1
14	ひと文化系領域 准教授 上村 浩信	1			

30	情報メディア教育センター 准教授 桑田 喜隆	1	33	しくみ情報系領域	教授 岸上 順一	1	
			34	もの創造系領域	助教 河内 邦夫	1	
31	もの創造系領域	教授 樋口 健	1	35	しくみ情報系領域	准教授 渡邊 浩太	1
32	もの創造系領域	教授 斎藤 英之	1	36	くらし環境系領域	講師 栗橋 祐介	2

### 民間機関等からの受託研究

NO	大学側研究代表者	件数				
			8	もの創造系領域	教授 樋口 健	2
1	もの創造系領域 教授 清水 一道	3	9	もの創造系領域	教授 河合 秀樹	1
2	OASIS(環境・エネルギーシステム材料研究機構) 特任教授 香山 晃	4	10	しくみ情報系領域	准教授 川口 秀樹	1
			11	くらし環境系領域	准教授 吉田 英樹	1
3	くらし環境系領域 助教 武田 明純	1	12	くらし環境系領域	准教授 徳楽 清孝	1
4	もの創造系領域 准教授 柴山 義行	1	13	くらし環境系領域	准教授 山中 真也	1
5	もの創造系領域 講師 松本 大樹	1	14	しくみ情報系領域	教授 塩谷 浩之	1
6	もの創造系領域 教授 世利 修美	1	15	しくみ情報系領域	教授 佐藤 孝紀	1
7	くらし環境系領域 教授 中津川 誠	1	16	くらし環境系領域	教授 上道 芳夫	1

### プレ共同研究

※研究代表者

NO	研究題目	大学側研究組織	民間機関等研究組織
1	音響計測によるコンクリート壁面高速診断システムの開発	※しくみ情報系領域 教授 板倉 賢一	(株)メイセイ・エンジニアリング 研究開発担当 田中 秀典
2	小型無人ヘリコプターを用いた空中電磁探査の実用化	※しくみ情報系領域 准教授 後藤 芳彦	(有)ネオサイエンス 社長 城森 明
3	特定のアミノ酸残基と反応する試薬の開発	※くらし環境系領域 教授 庭山 聡美	和光純薬(株) 臨床検査薬事業部 臨床検査薬開発本部 臨床検査薬研究所・主任研究員 黒野 定
4	鋳造シミュレーションおよび3Dプリンタを用いた鋳型製造技術の開発	※もの創造系領域 教授 清水 一道 工学研究科 博士後期課程 物質工学専攻 船曳 崇史	伸和機型(株) 取締役社長 鎌田 尚幸
5	炭化タングステン鋳ぐるみ耐摩耗鋳鋼材料の開発	※もの創造系領域 教授 清水 一道 工学研究科 博士後期課程 物質工学専攻 楠本 賢太	(株)北海道特殊鋳鋼 代表取締役 伊藤 淳
6	表面弾性波センサーを用いた乳房炎早期検出に関する研究	※しくみ情報系領域 教授 福田 永	今井動物病院 院長 獣医師 今井 哲朗

### 研究シーズ出展助成事業

#### ①出展研究シーズ名：超音波アクチュエーションと非接触搬送

申請教員：しくみ情報系領域 教授 青柳 学

展示会名：TECNO-FRONTIER 2014 第23回モーションエンジニアリング展

開催場所：東京ビッグサイト（有明・東京国際展示場）東1～3ホール

開催期間：2014年7月23日（水）～ 25日（金）

入場者数：11,633名

出展内容：日本機械学会機素潤滑設計部門アクチュエータ技術企画委員会の出展企画に参加し、研究成果物の実働展示を行った。1小間の展示スペースにおいて次のものを展示し実演を行った。

1. 超音波浮揚2次元搬送装置
2. 薄型单相矩形型リニア超音波モータステージ
3. 減衰進行波を用いたパイプ内音響浮揚装置
4. ジャイロモーメント・モータを応用したアミューズメント・トイ

小間の間仕切り板には5枚のポスターを掲示した。多くの方に展示物を見て頂くことができた。

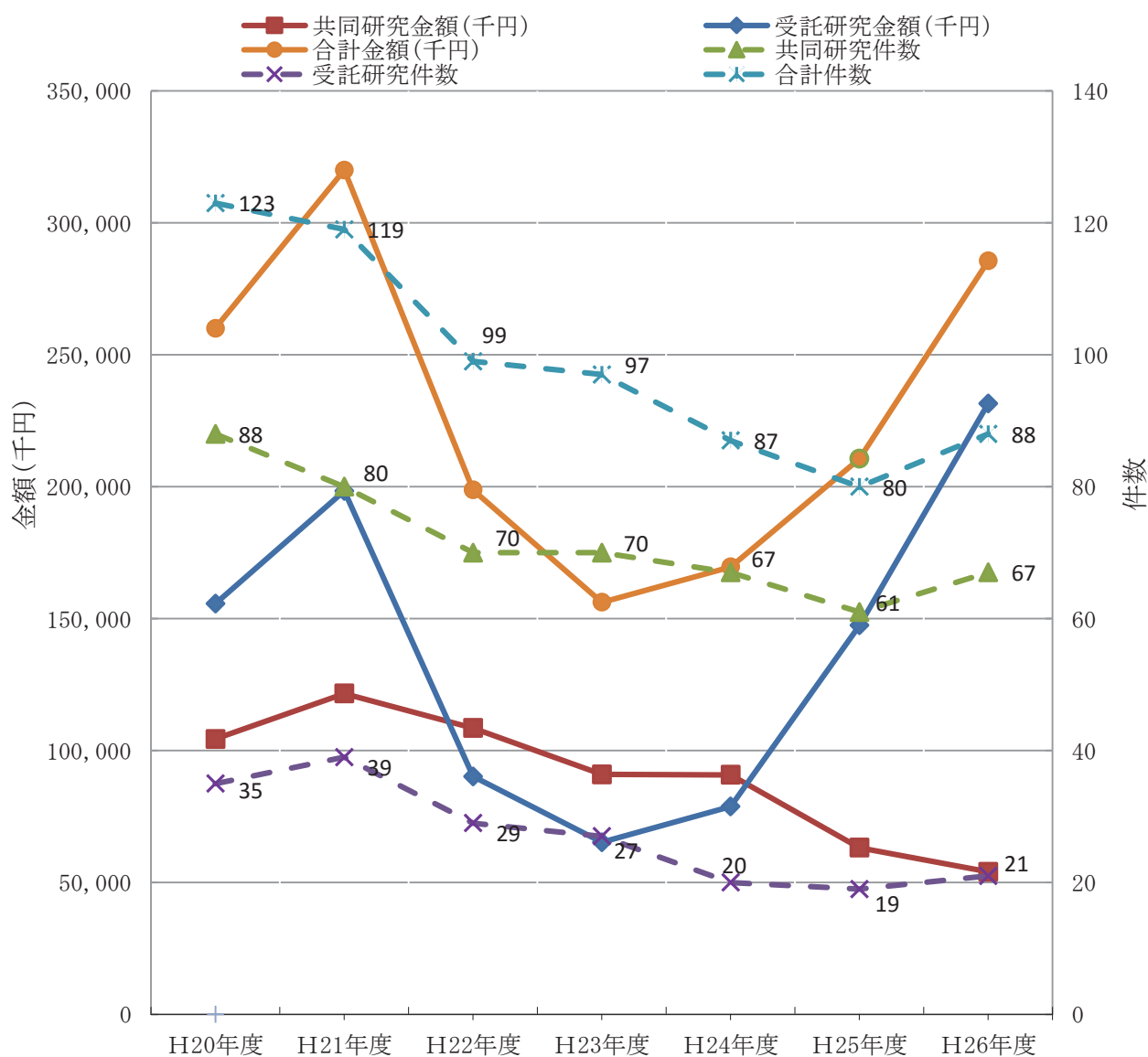
本展示会には期間中11,633名の来場者があった。事前に用意した資料(約500部)は全て配布された。当方の出展スペースにも多くの方々が訪れ、説明担当者3~4名はほとんど休みなく来場者に対応した。自動車メーカー1社およびコンサルタント1名より、積極的な技術相談および協力依頼があった。本展示会の来場者の42.0%が開発設計・研究に従事しており、研究シーズの発信に効果的であった。この度の展示会で多くの来場者に興味を持って頂き、本学の研究シーズを広く紹介することができた。よって、目的は十分に達成されたと思われる。

## 技術相談

①33件

「民間等との共同研究」及び「受託研究」の件数と研究経費の推移

	H20年度	H21年度	H22年度	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度
共同研究金額(千円)	104,386	121,628	108,559	90,961	90,817	63,202	54,051
受託研究金額(千円)	155,676	198,380	90,219	65,243	78,841	147,472	231,542
合計金額(千円)	260,062	320,008	198,778	156,204	169,658	210,674	285,593
共同研究件数	88	80	70	70	67	61	67
受託研究件数	35	39	29	27	20	19	21
合計件数	123	119	99	97	87	80	88



「民間等との共同研究」及び「受託研究」の件数と研究経費の推移

## 【平成 26 年度 事業活動】

研究の活性化，共同研究の推進

外部資金獲得，研究シーズの紹介・活動

人材育成

セミナー，研修会，交流会の開催

他機関との連携活動

各種展示会への出展

他機関主催事業への参加(ニーズ・情報の収集活動)

広報



# 平成 26 年度 事業活動

## 1. 研究の活性化、共同研究の推進(15件)(83頁)

- (1)平成 26 年度プレ共同研究(審査)(6件)
- (2)平成 27 年度共同研究プロジェクト(公募, 審査)(8件)
- (3)新日鐵住金(株) 棒線事業部 室蘭製鐵所との共同研究会議(10回)
- (4)(株)電制との共同研究会議(5回)
- (5)(株)北央技研との共同研究会議(4回)
- (6)ダイキン工業(株)との共同研究会議
- (7)札幌医大との共同研究会議(4回)
- (8)今井動物病院との共同研究会議(2回)
- (9)(株)コガネイとの共同研究打合せ(2回)
- (10)タテヤマアドバンス(株)との共同研究会議(6回)
- (11)創作工房せきね塩製造打合せ(4回)
- (12)ImPACTd 事業検討会(3回)
- (13)技術相談(33回)
- (14)研究協力会役員会および総会
- (15)第 26 回国立大学法人共同研究センター長等会議

## 2. 外部資金獲得、研究シーズの紹介・活動(5件)(86頁)

- (1)JST A-STEP の申請に対するコーディネート(11回)
- (2)JST A-STEP 事業説明会
- (3)JST シーズ説明会(発表会)(3回)
- (4)NEDO 説明会
- (5)企業訪問(58回)

## 3. 人材育成(4件)(87頁)

- (1)MOT(技術経営)実践講座(4回)
- (2)スーパー連携大学院
- (3)出前講義(3回)
- (4)胆振次世代経営革新塾(10回)

## 4. セミナー、研修会、交流会の開催(7件)(89頁)

- (1)CRD セミナー(5回)
- (2)高度技術研修
- (3)第 26 回フロンティア技術検討会
- (4)北のものづくり総合技術交流会(出前講座)(2回)
- (5)「室蘭工大 未来をひらく技術と研究」出版記念講演会
- (6)デジタルエンジニアリング人材育成フォーラム
- (7)第 7 回道内電気計装エンジニアリング研修会

## 5. 他機関との連携活動(14件)(92頁)

- (1)HiNT 協議会・連絡会(6回)
- (2)産学交流プラザ「創造」(13回)
- (3)蘭参会(名刺交換会)(4回)
- (4)(地独)北海道立総合研究機構との包括連携に関する会議および連携協定調印式(4回)
- (5)北海道科学技術審議会に関する会議(3回)
- (6)コラボ産学官(総会, 講演会)(2回)
- (7)産学官連携プラットフォーム in 釧路
- (8)全道産学官ネットワーク推進協議会
- (9)道科技審 室蘭地域懇談会
- (10)北海道防災・減災リレーシンポジウム
- (11)技術士会(2回)
- (12)客員教授による地域共同研究開発センター活動支援会議(2回)
- (13)コーディネーター会議(1回/2ヶ月)(6回)および室蘭テクノセンター理事会
- (14)客員教授(知的財産関係)との会議(9回)

## 6. 各種展示会への出展(7件)(96頁)

- (1)北洋銀行ものづくりテクノフェア 2014
- (2)ビジネスEXPO「第28回北海道 技術・ビジネス交流会」  
同時開催 シーズ・ニーズマッチングフェア with 金融機関

- (3)イノベーション・ジャパン(～大学見本市&ビジネスマッチング～)
- (4)第4回エコ・リサイクル型ものづくりシンポジウム【パネル展示等】
- (5)第6回北海道地区高専テクノ・イノベーションフォーラム
- (6)メッセナゴヤ2014
- (7)展示会出展助成事業

**7. 他機関主催事業への参加(ニーズ・情報の収集活動)(4件)(98頁)**

- (1)中小企業家同友会(3回)
- (2)中小規模材料加工実践技術経営研究会・JZK(3回)
- (3)北海道立総合研究機構 工業試験場 成果発表会
- (4)北海道医療福祉産業研究会

**8. 広報(2件)(99頁)**

- (1)定期刊行物(平成27年3月)(2件)
- (2)学内講義棟での展示(16名/2ヶ月)



## 1. 研究の活性化、共同研究の推進(15件)

### (1)平成26年度プレ共同研究(審査)(6件)

- ①炭化タングステン鑄ぐるみ耐摩耗鑄鋼材料の開発(15:20～15:40)  
室蘭工業大学 もの創造系領域 教授 清水 一道  
日 時：平成26年9月3日(水)
- ②鑄造シミュレーションおよび3Dプリンタを用いた鑄型製造技術の開発(15:40～16:00)  
室蘭工業大学 もの創造系領域 教授 清水 一道
- ③音響計測によるコンクリート壁面高速診断システムの開発(16:00～16:20)  
室蘭工業大学 しくみ情報系領域 教授 板倉 賢一
- ④特定のアミノ酸残基と反応する試薬の開発(14:00～14:30)  
室蘭工業大学 暮らし環境系領域 教授 庭山 聡美  
日 時：平成26年9月4日(木)
- ⑤表面弾性波センサーを用いた乳房炎早期検出に関する研究(14:30～15:00)  
室蘭工業大学 しくみ情報系領域 教授 福田 永
- ⑥小型無人ヘリコプターを用いた空中電磁探査の実用化(10:00～10:20)  
室蘭工業大学 暮らし環境系領域 准教授 後藤 芳彦  
日 時：平成26年9月19日(金)  
場 所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 会議室

### (2)平成27年度共同研究プロジェクト(公募、審査)(8件)

- ①有珠山の噴火予知と地熱エネルギー開発に関する実践的研究：CSAMT法電磁探査による有珠山深部の地殻構造探査(13:30～14:00)  
室蘭工業大学 暮らし環境系領域 准教授 後藤 芳彦
- ②音響計測によるコンクリート壁面高速診断システムの開発；板倉教授(14:00～14:30)  
室蘭工業大学 しくみ情報系領域 教授 板倉 賢一
- ③SiC/SiCターゲット用新製造プロセスの検討(14:30～15:00)  
室蘭工業大学 もの創造系領域 准教授 朴 峻秀
- ④航空機ジェットエンジン耐酸化コーティング手法としてのアルミニウム・ニッケル複合めっきの開発(15:00～15:30)  
室蘭工業大学 もの創造系領域 教授 佐伯 功
- ⑤積雪寒冷地域における道路構造物の高度化・長寿命化に関する研究(15:30～16:00)  
室蘭工業大学 暮らし環境系領域 准教授 小室 雅人
- ⑥リチウムイオン内包フラーレン誘導体の生物活性に関する研究(16:00～16:30)  
室蘭工業大学 暮らし環境系領域 教授 中野 博人
- ⑦有機繊維シートを用いた既設鋼構造物の補修・補強工法の開発に関する実験的研究  
(16:30～17:00)  
室蘭工業大学 暮らし環境系領域 講師 栗橋 祐介  
日 時：平成27年3月2日(月)
- ⑧高効率バイオコークスの加炭材としての適応方法の研究開発(13:00～13:30)  
室蘭工業大学 もの創造系領域 教授 清水 一道  
日 時：平成27年3月5日(木)  
場 所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 会議室

### (3)新日鐵住金(株) 棒線事業部 室蘭製鐵所との共同研究会議(10回)

- ①日 時：平成26年4月22日(火) 14:00～16:00  
参加者：5名(花島先生 他)
- ②日 時：平成26年5月20日(火) 14:30～15:30  
参加者：6名(花島先生 他)
- ③日 時：平成26年6月24日(火) 14:40～16:00  
参加者：7名(花島先生 他)

- ④日 時：平成 26 年 7 月 29 日(火) 13:30 ～ 15:00  
参加者：6 名(花島先生 他)
- ⑤日 時：平成 26 年 10 月 2 日(木) 14:30 ～ 16:00  
参加者：6 名(花島先生 他)
- ⑥日 時：平成 26 年 10 月 21 日(火) 14:30 ～ 16:00  
参加者：7 名(花島先生 他)
- ⑦日 時：平成 26 年 11 月 18 日(火) 14:00 ～ 15:30  
参加者：6 名(花島先生 他)
- ⑧日 時：平成 26 年 12 月 9 日(火) 14:00 ～ 15:30  
参加者：6 名(花島先生 他)
- ⑨日 時：平成 27 年 1 月 13 日(火) 14:00 ～ 15:30  
参加者：7 名(花島先生 他)
- ⑩日 時：平成 27 年 2 月 24 日(火) 14:00 ～ 15:30  
参加者：7 名(花島先生 他)

場 所：室蘭工業大学 A-211

#### (4) (株)電制との共同研究会議(5 回)

- ①日 時：平成 26 年 5 月 8 日(木) 15:00 ～ 17:30  
参加者：8 名(相津先生 他)
- ②日 時：平成 26 年 7 月 31 日(木) 15:00 ～ 17:00  
参加者：5 名(相津先生 他)
- ③日 時：平成 26 年 10 月 2 日(木) 15:00 ～ 17:00  
参加者：6 名(相津先生 他)
- ④日 時：平成 26 年 12 月 4 日(木) 15:00 ～ 17:00  
参加者：6 名(相津先生 他)
- ⑤日 時：平成 27 年 2 月 9 日(月) 15:00 ～ 17:00  
参加者：6 名(花島先生 他)

場 所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 会議室

#### (5) (株)北央技研との共同研究会議(4 回)

- ①日 時：平成 26 年 5 月 14 日(水) 13:00 ～ 14:30  
場 所：室蘭工業大学 A-211  
参加者：8 名(花島先生 他)
- ②日 時：平成 26 年 6 月 10 日(火) 15:00 ～ 17:00  
参加者：6 名(花島先生 他)
- ③日 時：平成 26 年 7 月 16 日(水) 13:30 ～ 15:30  
参加者：4 名(花島先生 他)
- ④日 時：平成 26 年 12 月 26 日(金) 13:30 ～ 16:00  
参加者：4 名(花島先生 他)

場 所：室蘭工業大学 E-101

#### (6) ダイキン工業(株)との共同研究会議

日 時：平成 26 年 6 月 11 日(水) 13:30 ～ 16:00  
場 所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 会議室  
参加者：4 名(世利先生 他)

#### (7) 札幌医大との共同研究会議(4 回)

- ①日 時：平成 26 年 4 月 23 日(水) 15:00 ～ 17:30  
参加者：福田先生 他
- ②日 時：平成 26 年 8 月 29 日(金) 15:00 ～ 17:30  
参加者：福田先生 他

③日 時：平成26年12月29日(月) 15:30～17:30  
参加者：福田先生 他

④日 時：平成27年1月23日(金) 15:00～17:30  
参加者：福田先生 他

場 所：R&Bパーク札幌大通サテライト(HiNT)(札幌市)

**(8) 今井動物病院との共同研究会議(2回)**

①日 時：平成26年4月14日(月) 13:30～17:30  
場 所：R&Bパーク札幌大通りサテライト(HiNT)(札幌市)  
参加者：5名(福田先生 他)

②日 時：平成26年6月25日(水) 15:30～17:00  
場 所：室蘭工業大学 Y棟  
参加者：4名(福田先生 他)

**(9) (株)コガネイとの共同研究打合せ(2回)**

①日 時：平成26年10月2日(木) 13:30～15:30  
参加者：6名(馬渡先生 他)

②日 時：平成27年1月14日(水) 13:00～15:30  
参加者：6名(馬渡先生 他)

場 所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 会議室

**(10) タテヤマアドバンス(株)との共同研究会議(6回)**

①日 時：平成26年7月30日(水) 11:00～14:00  
参加者：4名(溝口先生 他)

②日 時：平成26年10月9日(木) 10:00～12:00  
参加者：6名(溝口先生 他)

③日 時：平成26年11月20日(木) 10:00～12:00  
参加者：8名(溝口先生 他)

場 所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 会議室

④日 時：平成26年11月20日(木) 13:30～16:30, 21日(金) 13:30～16:30(説明会)  
場 所：室蘭工業大学 講義棟 ピロティ  
参加者：8名(溝口先生 他)

⑤日 時：平成27年1月30日(金) 15:00～17:00(審査会)  
場 所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 会議室  
参加者：8名(溝口先生 他)

⑥日 時：平成27年2月18日(水) 12:15～14:00(表彰式)  
場 所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 産学交流室  
参加者：12名(溝口先生 他)

**(11) 創作工房せきね塩製造打合せ(4回)**

①日 時：平成26年12月2日(火) 10:00～15:30  
参加者：6名(山中先生 他)

②日 時：平成26年12月25日(木) 10:00～15:30  
参加者：6名(山中先生 他)

③日 時：平成27年2月13日(金) 10:00～12:00  
参加者：6名(桃野先生, 山中先生)

④日 時：平成27年3月20日(金) 10:00～12:00  
参加者：6名(桃野先生, 山中先生)

場 所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 会議室

**(12) ImPACT 事業検討会(3回)**

①日 時：平成26年8月27日(水) 13:00～15:00  
参加者：4名

②日 時：平成26年10月10日(金) 13:00 ～ 15:00

参加者：6名

③日 時：平成26年12月11日(木) 13:00 ～ 15:00

参加者：6名

場 所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 会議室

(13)技術相談(他32回)

風力発電に関する技術打合せ

日 時：平成27年2月2日(月) 15:00 ～ 17:00

場 所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 会議室

参加者：6名

(14)研究協力会役員会および総会

【議 題】

1. 平成25年度活動・決算報告

2. 平成26年度事業計画(案), 予算案等を協議

【特別講演】

演 題：「『ものづくり』の産学連携について」

北海道経済連合会 前会長 近藤 龍夫

演 題：「エネルギーに関する国内事情と本学の取組み」

室蘭工業大学 もの創造系領域 准教授 朴 峻秀

【情報交換会】

日 時：平成26年7月10日(木) 14:00 ～ 18:30

場 所：中嶋神社 蓬峯殿(室蘭市)

参加者：39名

(15)第26回国立大学法人共同研究センター長等会議

日 時：平成26年9月25日(木) 14:00 ～ 21:00, 26日(金) 9:30 ～ 17:30(見学会含む)

場 所：北見工業大学(北見市)

参加者：200名

2. 外部資金獲得, 研究シーズの紹介・活動(5件)

(1)JST A-STEPの申請に対するコーディネート(11回)

(2)JST A-STEP 事業説明会

日 時：平成26年7月7日(月) 14:00 ～ 17:00

場 所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 会議室

参加者：12名

(3)JST シーズ説明会(発表会)(3回)

①北海道地域3大学2公設試 大学連携新技術説明会

テーマ：「混合気体から炭酸ガスを高選択的に分離可能な高分子膜」

室蘭工業大学 暮らし環境系領域 助教 馬渡 康輝

主 催：北海道大学産学連携本部, 科学技術振興機構

共 催：室蘭工業大学, 北見工業大学, 北海道立総合研究機構

函館地域産業振興財団

後 援：中小企業基盤整備機構, 全国イノベーション推進機関ネットワーク

日 時：平成26年9月8日(月) 10:30 ～ 16:45, 9日(火) 10:30 ～ 16:45

場 所：JST 東京本部別館ホール

参加者：158名

②A-STEP 発 新技術説明会

テーマ：「有機分子触媒を用いる新規抗インフルエンザ薬合成中間体の効率的な不斉合成法の開発」

室蘭工業大学 暮らし環境系領域 教授 中野 博人

日 時：平成26年10月28日(火) 9:35 ～ 17:00

場 所：JST 東京本部別館(東京都市ヶ谷)

参加者：60名

③A-STEP 発 新技術説明会

テーマ：「高圧合成法を利用した熱電変換材料の製造技術」

室蘭工業大学 しくみ情報系領域 教授 関根 ちひろ

日 時：平成26年11月27日(木) 9:35 ~ 17:20

場 所：JST 東京本部別館(東京都市ヶ谷)

参加者：120名

#### (4) NEDO 説明会

日 時：平成27年3月12日(木) 14:00 ~ 16:30

場 所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 会議室

参加者：18名

#### (5) 企業訪問(58回)

### 3. 人材育成(4件)

#### (1) MOT(技術経営)実践講座(4回)

##### ①第1回 MOT(技術経営)実践講座

テーマ：「ものづくり現場での生産管理」

(地独)北海道立総合研究機構 産業技術研究本部 ものづくり支援センター

研究主幹 飯田 憲一

日 時：平成26年7月1日(火) 8:45 ~ 10:15

参加者：62名

##### ②第2回 MOT(技術経営)実践講座

テーマ：「コンサルタント業の志と技術経営」

HRS(株) 代表取締役社長 鈴木 哲夫

日 時：平成26年7月8日(火) 8:45 ~ 10:15

参加者：61名

##### ③第3回 MOT(技術経営)実践講座

テーマ：「自動車部品におけるものづくりの実践」

アイシン北海道(株) 代表取締役社長 後藤 正治

日 時：平成26年7月15日(火) 8:45 ~ 10:15

参加者：66名

##### ④第4回 MOT(技術経営)実践講座

テーマ：「ベンチャーの志と技術経営」

(株)FJコンポジット 代表取締役 津島 栄樹

日 時：平成26年7月22日(火) 8:45 ~ 10:15

参加者：68名

主 催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター

場 所：室蘭工業大学 C208 講義室

#### (2) スーパー連携大学院(5回)

##### ①e-learning(MOT 基礎論)

##### ②地域課題調査(アンケート)

##### ③コア運営委員会

##### ④社長講和

##### ⑤スーパー連携大学院室蘭フォーラム

#### 【主催者挨拶】

室蘭工業大学 学長 佐藤 一彦

#### 【講演】

テーマ：スーパー連携大学院と改組後の室蘭工業大学大学院に関する講演

室蘭工業大学 理事(学術担当)・副学長 空閑 良壽

#### 【基調講演】

テーマ：地域産業の活性化と、人材育成について

(株)日本製作所 室蘭研究所長 東 司

#### 【パネルディスカッション】

【情報交換会】

日 時：平成27年3月25日(水) 16:00 ～ 17:40  
場 所：室蘭工業大学 教育研究棟 1号館 A304  
参加者：115名

(3) 出前講義(3回)

①テーマ：「建築分野における寒中コンクリート」

室蘭工業大学 暮らし環境系領域 教授 濱 幸雄

日 時：平成26年5月27日(火) 16:00 ～ 18:00  
場 所：(株)西村組 会議室(湧別町)  
参加者：20名

②テーマ：「金型を通しての熱処理 ～ 基礎と実際 ～」

室蘭工業大学 地域共同研究開発センター センター長 鴨田 秀一

日 時：平成26年6月6日(金) 17:00 ～ 19:30  
場 所：(株)札幌研削工業  
参加者：15名

③テーマ：「協調・共同・融和で活力ある地域づくりを」

室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 准教授 古屋 温美

日 時：平成26年9月30日(火) 13:00 ～ 17:30  
場 所：ウイングベイ小樽(小樽市)  
参加者：約40名

(4) 胆振次世代革新塾 ～ 問題解決力を養い新たな価値の創出へ！！ ～ (8回)(その他2回)

①胆振次世代革新塾立ち上げ協議(東京間のネットワーク会議を含む)

日 時：平成26年6月5日(木) 16:00 ～ 18:00  
場 所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 会議室  
参加者：12名

②テーマ：「問題解決力とイノベーション」

テーマⅠ：「イノベーションとは何か」(自宅からネットワークによる講義等)

法政大学 教授 岡本 義行

テーマⅡ：「本講座の全体ガイダンス」

法政大学 地域研究センター 客員研究員 中島 ゆき

【情報交換会】

日 時：平成26年8月28日(木) 19:00 ～ 21:00  
参加者：28名

③テーマ：「問題解決力とイノベーション」

テーマⅠ：「問題解決力と改善」

(株)キュー・エム・アイ 代表取締役 池部 信夫

日 時：平成26年9月4日(木) 19:00 ～ 21:00  
参加者：24名

④テーマ：「問題解決力とイノベーション」

テーマⅠ：「グループワーク(終身雇用のあり方について)」

法政大学 地域研究センター 客員研究員 中島 ゆき

日 時：平成26年9月18日(木) 19:00 ～ 21:00  
参加者：24名

場 所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 産学交流室

⑤テーマ：「問題解決力とイノベーション」

テーマⅠ：「選択を科学する(1)」

崇城大学 教授 永松 俊雄

日 時：平成26年10月9日(木) 19:00 ～ 21:00  
場 所：テクノアゴラ(室蘭市)

参加者：24名

- ⑥テーマ：ロジカルシンキング  
テーマⅠ：選択を科学する(1)

崇城大学 教授 永松 俊雄

日時：平成26年10月23日(木) 19:00～21:00  
参加者：24名

- ⑦テーマ：組織とマネジメント  
テーマⅠ：組織論とリーダーシップ(1)

法政大学 教授/元花王役員 北原 正敏

日時：平成26年11月6日(木) 19:00～21:00  
参加者：24名

- ⑧テーマ：組織とマネジメント  
テーマⅠ：組織論とリーダーシップ(2)

法政大学 教授 岡本 義行(自宅よりネットワークによる参加)  
法政大学 教授/元花王役員 北原 正敏(法政大学よりネットワークによる参加)  
法政大学 地域研究センター 客員研究員 中島 ゆき

#### 【情報交換会】

日時：平成26年11月20日(木) 19:00～21:00  
参加者：24名

場所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 産学交流室

- ⑨テーマ：製造現場の課題を映像(事例)から紐解き解決する実践セミナー  
～希望企業には受講後、現場にて解決アドバイス～  
テーマⅠ：5S・ムダ取りの実習

日時：平成27年2月13日(金) 15:00～16:30  
参加者：24名

- ⑩テーマ：製造現場の課題を映像(事例)から紐解き解決する実践セミナー  
～希望企業には受講後、現場にて解決アドバイス～  
テーマⅠ：工程改善の実習

日時：平成27年3月11日(水) 15:00～16:30  
参加者：24名

場所：中嶋神社 蓬峯殿(室蘭市)

主催：『ものづくり企業活性化チーム 学・官・金 室蘭』/(一社)北海道機械工業会  
構成 室蘭工業大学 地域共同研究開発センター：室蘭市 経済部 産業振興課  
室蘭テクノセンター：室蘭信用金庫

#### 4. セミナー、研修会、交流会の開催(7件)

##### (1) CRD セミナー(5回)

- ①HiNT連絡会および他機関との連携活動セミナー(第1回CRDセミナー)

テーマ：「未利用石炭資源の活用 - 石炭地下ガス化技術の未来 -」

室蘭工業大学 環境科学・防災研究センター・しくみ情報系領域 教授 板倉 賢一

主催：HiNT運営協議会

日時：平成26年4月23日(水) 15:30～18:00

場所：R&Bパーク札幌大通サテライト(札幌市)

出席：25名

- ②第2回CRDセミナー

テーマ：「阪神・淡路大震災の記憶」

国土交通省 北海道開発局 開発監理部 開発調整課長 谷村 昌史

#### 【情報交換会】

主催：室蘭工業大学 同窓会水元技術士会

日時：平成26年7月11日(金) 18:00～21:15

場 所：ホテルポールスター札幌（札幌市）

参加者：43名

③HiNT連絡会および他機関との連携活動セミナー（第3回CRDセミナー）

テーマ：「室蘭工大OASISの環境・エネルギー材料研究」

環境・エネルギーシステム材料研究機構 機構長

室蘭工業大学 特任教授 香山 晃

主 催：HiNT運営協議会

日 時：平成26年7月16日（水）17:00～18:00

場 所：R&Bパーク札幌大通サテライト（札幌市）

出 席：25名

④第4回CRDセミナー

テーマⅠ：「利雪最前線 2014秋」

室蘭工業大学 大学院工学研究科 機械工学専攻 特任教授 媚山 政良

テーマⅡ：「航空宇宙機システム研究センターの先端研究開発の現況について」

室蘭工業大学 航空宇宙機システム研究センター センター長 東野 和幸

【情報交換会】

主 催：室蘭工業大学 同窓会小樽支部

日 時：平成26年10月25日（土）18:00～21:15

場 所：ニュー三幸（小樽市）

参加者：43名

⑤苫小牧地域産学官金連携セミナー2014「ものづくりに生かす素材と技術」（第5回CRDセミナー）

テーマⅠ：「焼結によるものづくり」

苫小牧工業高等専門学校 機械工学科 准教授 高澤 幸治

テーマⅡ：「非鉄金属材料の腐食と防食」

室蘭工業大学 もの創造系領域・航空宇宙システム工学ユニット 准教授 境 昌宏

主 催：苫小牧地域ものづくり産業振興のための産学官金連携実行委員会

後 援：苫小牧市、苫小牧市教育委員会、室蘭工業大学地域共同研究開発センター 研究協力会

苫小牧工業高等専門学校 協力会

日 時：平成27年1月23日（金）15:00～17:00

場 所：苫小牧経済センター 6F 大ホール（苫小牧市）

参加者：29名

(2)室工大&機械工業会コラボによる高度技術研修(2014ものづくり技術セミナー)

テーマⅠ：燃結によるAI基複合材料および塑性変形利用医療機器

北海道大学 大学院工学研究院 人間機械システムデザイン部門

マイクロエネルギーシステム研究室 教授 佐々木克彦

テーマⅡ：塑性加工と解析とシミュレーション技術

(株)コベルコ科研 エンジニアリングメカニクス事業部

CAE・実験評価部 解析技術室 中島 伸吾

テーマⅢ：サーボプレスを利用したファインブランキングの事例

北海道立総合研究機構 産業技術研究本部 工業試験場 製品技術部

生産システム・製品技術グループ 研究主任 鶴谷 知洋

テーマⅣ：サーボプレスの高機能化と進化するパルス成形技術

(株)アマダ プレス事業部門 技術部 芳樹 宏志

主 催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター

北海道機械工業会（自動車プレス部会、機械製缶部会、札幌支部）

後 援：北海道プレス加工研究会、精密工学会北海道支部、日本機械学会北海道支部

日本鑄造工学会北海道支部、北海道立総合研究機構工業試験場

室蘭工業大学CRDセンター研究協力会、異業種交流プラザ“創造”

日 時：平成26年11月18日（火）13:00～17:00

場 所：京王プラザホテル札幌（札幌）

参加者：82名



### (3) 第26回フロンティア技術検討会

テーマ：「水素エネルギー社会の実現に向けて」

講演1：「水素社会の実現に向けて ～課題と取り組みの方向性～」

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部 主任研究員 吉積 潔

講演2：「北海道を水素油田に!!再生可能なエネルギーを活用した社会システムの構造改革」

(株)フレイン・エナジー 代表取締役 小池田 章

講演3：「燃料電池車へのトヨタの取り組み」

トヨタ自動車(株) 流通企画部 北海道・近畿 地域統括部長 萩原 靖仁

講演4：「炭素ナノ資材を活用した燃料電池用電極触媒の開発と高性能化」

室蘭工業大学 暮らし環境系領域 准教授 田邊 博義

#### 【産・学・官交流会】

主催：室蘭地域産学官連携事業実行委員会

委員会構成

室蘭工業大学 地域共同研究開発センター

室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 研究協力会

室蘭テクノセンター、産学交流プラザ「創造」

後援：北海道胆振総合振興局，室蘭市，登別市，伊達市，室蘭商工会議所，登別商工会議所

伊達商工会議所，室蘭信用金庫，伊達信用金庫，北洋銀行，北海道銀行

日本政策金融公庫，北海道新聞社 室蘭支社，室蘭民報社

北海道中小企業家同友会 西胆振支部，北海道IM連携促進会

日時：平成26年10月16日(木) 14:00～19:15

場所：中嶋神社 蓬峯殿(室蘭市)

参加者：94名

### (4) 北のものづくり総合技術交流会(出前講座)(2回)

①テーマ：「金型を通しての熱処理 ～基礎と実際～」

室蘭工業大学 地域共同研究開発センター センター長(特任教授) 鴨田 秀一

日時：平成26年7月16日(水) 18:00～21:00

参加者：28名

②テーマ：「良く解る鉄鋼の表面硬化技術」

室蘭工業大学 地域共同研究開発センター センター長(特任教授) 鴨田 秀一

日時：平成26年8月20日(水) 18:00～21:00

参加者：28名

主催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター

場所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 産学交流室

### (5) 「室蘭工大 未来をひらく技術と研究」出版記念講演会

テーマ：「温故知新 鋳物の新たな可能性」

室蘭工業大学 特任教授 桃野 正

日時：平成26年9月24日(水) 18:30～20:00

場所：北海道新聞社北1条館1F DO-BOX(札幌市)

参加者：32名

### (6) デジタルエンジニアリング人材育成フォーラム

テーマⅠ：「日本の自動車産業の現状と課題」

講師：(株)アドヴィックス 取締役社長 川田 武司

テーマⅡ：「切削加工におけるシミュレーション利用とその課題」

講師：室蘭工業大学 もの創造系領域 ロボティクスユニット 教授 寺本 孝司

主催：室蘭テクノセンター，北海道中央産業振興財団(苫小牧市)

共催：室蘭工業大学・地域共同研究開発センター，北海道CAE利用技術研究会

後援：北海道，室蘭市，室蘭商工会議所，日本材料学会 北海道支部

北海道トライボロジー研究会

日時：平成26年5月9日(金) 11:40～20:00

場所：室蘭工業大学 S201

参加者：76名

#### (7) 第7回道内電気計装エンジニアリング研修会

##### 【講演】

先端技術紹介(10:30～12:00)

テーマⅠ：「地球の歴史を振り返りエネルギーを考える」

(株)MHPSコントロールシステムズ スペシャルエキスパート(工学博士) 黒石 卓司

先端技術紹介(13:00～14:30)

テーマⅡ：「シップリサイクル事業を支える最新技術の動向」

室蘭工業大学 もの創造系領域 教授 清水 一道

##### 【討議】

日常的な技術紹介と課題討論(14:45～17:15)

テーマⅠ：「制御現場における小型端末活用事例」

ニッテツ北海道制御システム(株) 計算機通信制御部 課長 敦賀 幸一

テーマⅡ：「無線計装の活用事例」

JX日鉱日石エネルギー(株) 室蘭製造所 計装電気グループ マネージャー 小永 竜也

日時：平成26年8月21日(木) 10:25～17:30

場所：ニッテツ北海道制御システム(株)(nSC)(室蘭市)

参加者：28名

#### 5. 他機関との連携活動(14件)

##### (1) HiNT 協議会・連絡会(6回)

①主催：HiNT運営協議会

日時：平成26年4月23日(水) 15:30～18:00

出席：18名

②主催：HiNT運営協議会

日時：平成26年5月14日(水) 15:30～18:00

出席：18名

③主催：HiNT運営協議会

日時：平成26年7月16日(水) 17:00～18:00

出席：18名

④主催：HiNT運営協議会

日時：平成26年9月10日(水) 16:00～18:30

出席：18名

⑤主催：HiNT運営協議会

日時：平成26年11月20日(木) 16:00～18:30

出席：22名

⑥主催：HiNT運営協議会

日時：平成27年3月26日(木) 15:30～18:30

出席：22名

場所：R&Bパーク札幌大通サテライト(札幌市)

##### (2) 産学交流プラザ「創造」(13回)

①例会

日時：平成26年4月22日(火) 14:00～20:00

場所：(株)アール・アンド・イー, 登別温泉, かめや

参加者：20名

②役員会

日時：平成26年5月19日(月) 10:00～12:00

場所：室蘭テクノセンター

参加者：12名

③総会

日時：平成26年5月27日(火) 17:30～20:00

場所：中嶋神社 蓬峯殿(室蘭市)

参加者：35名

④例会

日時：平成26年6月24日(火) 15:30 ～ 20:00

場所：三和工業(株), かめや

参加者：23名

⑤他地域企業見学会(函館)

日時：平成26年8月8日(金) 9:00 ～, 9日(土) 16:00

場所：新函館北斗駅(新幹線駅)建設現場, 函館どつく(株)本社  
(株)函館カール・レイモン本社工場

参加者：21名

⑥例会

日時：平成26年9月29日(月) 17:00 ～ 20:00

場所：かめや

参加者：25名

⑦例会(小水力発電等について 講師：室蘭工業大学 教授 中津川 誠)

日時：平成26年10月21日(火) 17:00 ～ 20:30

場所：テクノアゴラ(室蘭市輪西町)

参加者：20名

⑧例会

日時：平成26年11月17日(月) 17:00 ～ 20:00

参加者：23名

⑨例会

日時：平成26年12月16日(火) 17:30 ～ 20:00

参加者：25名

場所：かめや

⑩小水力発電実験用河川調査

日時：平成27年2月4日(水) 14:00 ～ 17:00

場所：阿部産業(株)

参加者：12名(中津川先生 他)

⑪役員会

日時：平成27年2月12日(木) 13:30 ～ 20:00

場所：室蘭テクノセンター(室蘭市)

参加者：35名

⑫例会

日時：平成27年2月24日(火) 17:00 ～ 20:00

参加者：25名

⑬例会

日時：平成27年3月24日(火) 17:00 ～ 20:00

参加者：25名

場所：かめや

(3) 蘭参会(名刺交換会) (4回)

① 日時：平成26年5月13日(火) 18:30 ～ 20:30

参加者：120名

② 日時：平成26年8月19日(火) 18:30 ～ 20:30

参加者：110名

③ 日時：平成26年11月25日(火) 18:30 ～ 20:30

参加者：115名

④ 日時：平成27年2月17日(火) 18:30 ～ 20:30

参加者：115名

場所：中嶋神社 蓬峯殿(室蘭市)

(4) (地独)北海道立総合研究機構との包括連携に関する会議および連携協定調印式(4回)

①会議

日 時：平成26年6月16日(月) 15:30 ~ 17:30

参加者：10名

②会議

日 時：平成26年8月4日(月) 14:30 ~ 17:30

参加者：8名

場 所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 会議室

③会議

日 時：平成26年9月3日(水) 9:30 ~ 11:30

場 所：(地独)北海道立総合研究機構 工業試験場(札幌市)

参加者：5名

④連携協定調印式

日 時：平成26年11月14日(金) 15:30 ~ 17:30

場 所：室蘭工業大学 事務局 会議室

参加者：22名

(5)北海道科学技術審議会に関する会議(3回)

①日 時：平成26年5月28日(水) 13:30 ~ 15:30

参加者：15名

②日 時：平成26年10月8日(水) 13:30 ~ 15:30

参加者：15名

③日 時：平成26年12月15日(月) 13:30 ~ 15:30

参加者：15名

場 所：札幌かでの2.7(札幌市)

(6)コラボ産学官(総会, 講演会)(2回)

①日 時：平成26年6月12日(木) 14:30 ~ 17:15

参加者：総会49名, 講演会87名

②第12回本部理事会

日 時：平成27年3月17日(火), 18日(水)

参加者：鴨田センター長

場 所：コラボ産学官プラザ in TOKYO(東京都)

(7)産学官連携プラットフォーム in 釧路

日 時：平成26年12月3日(水), 4日(木) 13:30 ~ 15:30

場 所：釧路市アクア・ベール(釧路市)

参加者：41名

(8)全道産学官ネットワーク推進協議会

日 時：平成26年12月9日(火) 13:30 ~ 19:00

場 所：札幌ガーデンパレス(札幌市)

参加者：54機関67名

(9)道科技審 室蘭地域懇談会

テーマ：「地域における新事業創出と人材育成」

室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 准教授 古屋 温美

日 時：平成26年10月30日(木) 13:00 ~ 17:30

場 所：胆振総合振興局合同庁舎(むろらん広域センタービル)(室蘭市)

参加者：13名

(10)北海道防災・減災リレーシンポジウム

総合テーマ：「冬の防災・危機管理を考える」

テーマⅠ：「冬の津波に備える」

室蘭工業大学 暮らし環境系領域 教授 木村 克俊

テーマⅡ：「大規模土砂災害と危機管理」

パネルディスカッション

主催：北海道大学，室蘭工業大学，北見工業大学  
共催：国立大学協会，北海道新聞社  
後援：北海道開発局，北海道運輸局，札幌管区气象台，国土地理院北海道地方測量部  
北海道経済産業局，北海道，札幌市，室蘭市，北見市，中標津町  
土木研究所寒地土木研究所，北海道立総合研究機構，北海道開発協会  
北海道開発技術センター，日本赤十字社北海道支部，北海道トラック協会  
北海道医師会，北海道建設業協会，建設コンサルタント協会北海道支部  
東日本高速道路(株)北海道支社，北海道電力(株)，北海道ガス(株)  
協力：北海道大学公共政策大学院公共政策学研究センター  
室蘭工業大学地域共同研究開発センター  
日時：平成26年10月23日(木) 13:30～17:00  
場所：中嶋神社 蓬峯殿(室蘭市)  
参加者：145名

(11)技術士会(2回)

①第7回北海道地区高専テクノ・イノベーションフォーラム(パネル展示)  
「新聞全面広告，センター案内，室蘭観光，室蘭工場夜景」

日時：平成26年8月21日(木) 9:30～17:30  
場所：札幌コンベンションセンター(札幌市)  
参加者：約600名

②講演会

テーマ：「温故知新 鋳物の新たな可能性」

室蘭工業大学 特任教授 桃野 正

日時：平成27年1月16日(金) 15:00～17:00  
場所：テクノアゴラ(室蘭市輪西町)  
参加者：30名

(12)客員教授による地域共同研究開発センター活動支援会議(2回)

①日時：平成26年8月22日(金) 15:30～17:30  
参加者：10名

②日時：平成27年3月23日(月) 15:30～17:30  
参加者：11名

場所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 会議室

(13)コーディネーター会議(1回/2ヶ月)(6回)および室蘭テクノセンター理事会

①日時：平成26年5月22日(木) 15:00～16:00  
場所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 産学交流室  
参加者：9名

②日時：平成26年7月30日(水) 15:00～16:00  
場所：室蘭テクノセンター  
参加者：9名

③日時：平成26年10月2日(木) 15:00～16:00  
場所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 産学交流室  
参加者：12名

④日時：平成26年11月26日(水) 15:00～16:00  
場所：室蘭テクノセンター  
参加者：9名

⑤日時：平成27年1月29日(木) 15:00～16:00  
場所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 産学交流室  
参加者：9名

⑥日時：平成27年3月24日(火) 15:00～16:00

場 所：室蘭テクノセンター  
参加者：9名

⑦室蘭テクノセンター理事会

日 時：平成27年3月24日(火) 11:00 ～ 12:00  
場 所：室蘭テクノセンター  
参加者：15名

(14) 客員教授(知的財産関係)との会議(9回)

- ①日 時：平成26年4月4日(金) 15:30 ～ 17:30
- ②日 時：平成26年5月23日(金) 15:30 ～ 17:30
- ③日 時：平成26年6月24日(火) 10:00 ～ 13:00
- ④日 時：平成26年7月7日(月) 13:00 ～ 16:00
- ⑤日 時：平成26年8月26日(火) 13:00 ～ 15:00
- ⑥日 時：平成26年10月8日(水) 10:30 ～ 16:30
- ⑦日 時：平成26年11月27日(木) 10:30 ～ 15:30
- ⑧日 時：平成26年12月16日(火) 13:00 ～ 15:00
- ⑨日 時：平成27年2月3日(火) 15:30 ～ 17:30

場 所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 会議室  
参加者：3名(三井氏)

6. 各種展示会への出展(7件)

(1) 北洋銀行ものづくりテクノフェア2014【パネル展示】

「粉碎による機能性微粒子の創出と機能発現」

室蘭工業大学 暮らし環境系領域 准教授 山中 真也  
理事・副学長 空閑 良壽

「環境調査用自律走行車両」

もの創造系領域 ロボティクスユニット システム制御工学研究室 准教授 花島 直彦

「加圧水型 DCHE 方式地熱発電用の耐環境・長寿命セラミックス複合材料 2 重鋼管の開発」

環境・エネルギーシステム材料研究機構(OASIS)

「混合気体から炭酸ガスを高選択的に分離可能な高分子膜」

客員教授 田畑 昌祥  
室蘭工業大学 暮らし環境系領域 助教 馬渡 康輝  
博士研究員 吉田 嘉晃

「羊毛廃棄物から作製するエンジニアリングプラスチック」

室蘭工業大学 もの創造系領域 教授 平井 伸治  
大学院生 田川 純一

「センターシーズ集に関する広報」

主 催：北洋銀行

後 援：経済産業省北海道経済産業局，北海道，札幌市，北海道機械工業会

北海道経済連合会，北海道商工会議所連合会，北海道中小企業家同友会

札幌商工会議所，中小企業基盤整備機構北海道支部

産業技術総合研究所北海道センター，北海道立総合研究機構

北海道発明協会，北海道中小企業総合支援センター

北海道科学技術総合振興センター，北海道自動車産業集積促進協議会

札幌証券取引所，省エネルギーセンター北海道支部，北海道環境財団

さっぽろ産業振興財団，EMS-JP北海道，(株)北海道二十一世紀総合研究所

土木研究所寒地土木研究所，旭川商工会議所

協 力：北海道大学，室蘭工業大学，小樽商科大学，帯広畜産大学，北見工業大学

札幌医科大学，札幌市立大学，函館工業高等専門学校，苫小牧工業高等専門学校

釧路工業高等専門学校，旭川工業高等専門学校

特別協力：帯広信用金庫，旭川信用金庫

協 賛：札幌コンベンションセンター

日 時：平成26年7月24日(木) 10:00 ～ 17:00

場 所：札幌コンベンションセンター(札幌市)

参加者：約4,300名 参加企業：196社・団体

(2) ビジネス EXPO 「第 28 回北海道 技術・ビジネス交流会」【パネル展示】

同時開催 シーズ・ニーズマッチングフェア with 金融機関

① パネル展示等 (本学関係分)

「全量副産物ゼロセメント固化体製品の実用化技術」

室蘭工業大学 暮らし環境系領域 教授 濱 幸雄

「高い水素化活性化能を有する貴金属リン化合物系脱硫触媒の開発」

室蘭工業大学 暮らし環境系領域 助教 神田 康晴

「混合気体中の CO2 を選択的に分離できる高分子膜」

室蘭工業大学 暮らし環境系領域 助教 馬渡 康輝

「動物性タンパク質を用いた高機能性樹脂」

室蘭工業大学 もの創造系領域 教授 平井 伸治

「ホタテ貝殻粉末を用いた紫外線遮蔽剤の開発」

室蘭工業大学 暮らし環境系領域 准教授 山中 真也

「SiC/SiC複合材料の開発」

環境・エネルギーシステム材料研究機構 機構長(室蘭工業大学 特任教授) 香山 晃

② シーズ・ニーズマッチングフェア with 金融機関

「全量副産物ゼロセメント固化体製品の実用化技術」

室蘭工業大学 暮らし環境系領域 教授 濱 幸雄

「連続繊維(FRP)板の接着による水中・海中コンクリート構造物の補修補強工法の開発」

室蘭工業大学 暮らし環境系領域 講師 栗橋 祐介

「SiC/SiC複合材料による耐環境構造材料の開発」

室蘭工業大学 環境・エネルギーシステム材料研究機構 研究員 早坂 大輔

「ホタテ貝殻微粉末体を用いた紫外線遮蔽剤の開発」

室蘭工業大学 暮らし環境系領域 准教授 山中 真也

主 催：北海道 技術・ビジネス交流会 実行委員会

日 時：平成 26 年 11 月 6 日(木) 10:00 ~ 17:30, 7 日(金) 9:30 ~ 17:00

場 所：アクセスサッポロ(札幌市)

参加者：20,028 名 ((木)10,165 名, (金)9,863 名)

(3) イノベーション・ジャパン 2014(～大学見本市&ビジネスマッチング～)【パネル展示等】

「繊維廃棄物は宝の山 ～動物繊維廃棄物から生まれた新しい樹脂～」

室蘭工業大学 もの創造系領域 教授 平井 伸治

日 時：平成26年9月11日(木) 9:30 ~ 17:30, 12日(金) 10:00 ~ 17:00

場 所：東京ビックサイト 東京国際展示場(東京都)

参加者：11,976 名, 11,988 名 合計 23,964 名

(4) 第 4 回エコ・リサイクル型ものづくりシンポジウム【パネル展示等】

日 程：平成 27 年 2 月 14 日(土) 13:00~17:00

場 所：蓬峯殿(室蘭市)

内 容：基調講演, 事例紹介(3名), ブースによる紹介

参加者：116 名

(5) 第 6 回北海道地区高専テクノ・イノベーションフォーラム【パネル展示等】

「粉砕による機能性微粒子の創出と機能発現」

室蘭工業大学 暮らし環境系領域 准教授 山中 真也  
理事・副学長 空閑 良壽

「環境調査用自律走行車両」

もの創造系領域 ロボティクスユニット システム制御工学研究室 准教授 花島 直彦

「加圧水型 DCHE 方式地熱発電用の耐環境・長寿命セラミックス複合材料 2 重鋼管の開発」

環境・エネルギーシステム材料研究機構(OASIS)

「室蘭工業大学 CRDセンター シーズ集に関する広報」

日 時：平成26年8月21日(木) 9:30 ~ 17:30

場 所：札幌コンベンションセンター(札幌市)

参加者：約 600 名

**(6) メッセナゴヤ 2014【4 件パネル展示】**

日 時：平成26年11月5日(水) 9:30 ~ 17:30

場 所：ポートメッセなごや(名古屋市港区金城ふ頭)

参加者：65,975 名

**(7) 展示会出展助成事業**

①出展研究シーズ名：超音波アクチュエーションと非接触

展示会名：TECNO-FRONTIER 2014 第23回モーションエンジニアリング展

申請教員：しくみ情報系領域 教授 青柳 学

日 時：平成26年7月23日(水) ~ 25日(金)

場 所：東京ビッグサイト(有明・東京国際展示場)東1~3ホール(東京都江東区)

参加者：11,633 名

**7. 他機関主催事業への参加(ニーズ・情報の収集活動)(4 件)**

**(1) 中小企業家同友会(3 回)**

①北海道中小企業家同友会苫小牧支部総会

日 時：平成26年4月23日(水) 17:00 ~ 21:00

場 所：グランドホテルニュー王子

参加者：124 名

②苫小牧地域産学官連携実行委員会

日 時：平成26年6月20日(金) 14:30 ~ 16:30

参加者：10 名

③苫小牧地域産学官連携実行委員会定期総会及び懇親会

日 時：平成26年7月4日(金) 16:30 ~ 18:30

参加者：20 名

場 所：苫小牧経済センター 6F 大ホール

**(2) 中小規模材料加工実践技術経営研究会(JZK)(3 回)**

①第25回中小規模材料加工実践技術経営研究会(JZK-25)「同志7年目の未来展望」

日 時：平成26年5月16日(金) 13:00 ~ 20:00

場 所：NASIC-セミナーホール(青山オーバルビル 15F)(東京都)

参加者：38 名

②第26回中小規模材料加工実践技術経営研究会「明日を拓く現場ものづくり技術-6」 in 北見

日 時：平成26年7月31日(木) 14:30 ~ 21:00, 8月1日(金) 8:00 ~ 18:40(見学会)

場 所：ホーツク木のプラザ(北見市)

参加者：36 名

③Colloquium 2015「技術科学と生産技術の交流-7」(併催)7周年記念 第28回 JZK

**【趣 旨】**

わが国ものづくり技術の明日の展開のために、技術科学の第一線研究者(大学)と生産技術の前線技術経営者(企業等)が一堂に会し、技術研究と技術者教育のより高いパフォーマンスを目指して語り合い、それぞれの歩むべき道を確認、また工学と工業の不即不離の絆でシナジー効果を期待する。特別講演、技術研究成果発表、交流会など盛りだくさん。お誘い合せて、充実の時を共にしましょう。

**【プログラム内容】(本学関係分)**

第1部 技術科学の成果

「抗アルツハイマー病剤探索のための新規スクリーニングシステムの開発」

室蘭工業大学 化学生物工学 准教授 徳楽 清孝

主 催：室蘭工業大学、信州大学、JZK中小規模材料加工実践技術経営研究会

後 援：(株)NASIC 学生情報センター

日 時：平成27年2月5日(木) 13:00 ~ 20:00

場 所：NASIC セミナーホール(渋谷区神宮前 5-52-2 青山オーバルビル 15F)

参加者：36 名

**(3) 技術移転フォーラム 2014「工業試験場成果発表会」**

(地独)北海道立総合研究機構 工業試験場 成果発表会



日 時：平成 26 年 5 月 20 日(火) 15:30 ～ 17:30  
場 所：ホテル札幌ガーデンパレス(札幌市)  
参加者：510 名

**(4) 北海道医療福祉産業研究会(青柳先生サンプル展示)**

『北海道ヘルスケア産業マッチングセミナー』(ブース展示)

日 時：平成 27 年 3 月 20 日(金) 13:00 ～ 17:30  
場 所：札幌コンベンションセンター 中ホール (札幌市)  
主 催：(株)北海道二十一世紀総合研究所 北海道ヘルスケアサービス創造研究会  
協 力：経済産業省北海道経済産業局, 札幌商工会議所, 北洋銀行, 北海道銀行  
北海道信用金庫協会

**8. 広報(2 件)**

**(1) 定期刊行物(平成 27 年 3 月)(2 件)**

- ①センターニュース No.27
- ②研究報告 No.25

**(2) 学内講義棟での展示(1 件)**

- ①教員の研究シーズパネル展示(16 テーマ/2 ヶ月)(6 回)





**室蘭工業大学  
地域共同研究開発センター**

〒050-8585 室蘭市水元町27番1号

URL <http://www.muroran-it.ac.jp/crd/>

E-mail [crd@mmm.muroran-it.ac.jp](mailto:crd@mmm.muroran-it.ac.jp)

T E L (0143)46-5860

F A X (0143)46-5879