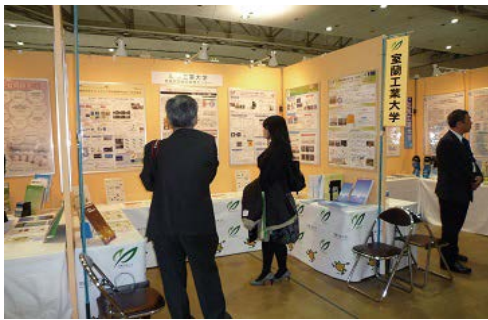


室蘭工業大学

地域共同研究開発センター 研究報告

No. 28



2018



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

— 目 次 —

【平成 28 年度 共同研究プロジェクト成果】

- (1) 大型建設機械バルブボディ用強度化厚肉鋳物の研究開発・・・ 1
清水 一道, 木口 昭二, 楠本 賢太
- (2) 加速器材料としての SiC/SiC 複合材料の可能性探索・・・ 5
朴 峻秀, 岸本 弘立, 中里 直史, 青木 正治, 牧村 俊介, 的場 史朗
- (3) 既設四径間連続曲線鋼桁橋の固有振動特性に関する現地振動実験及び数値解析的検討・・・ 12
川瀬 良司, 小室 雅人, 岸 徳光, 栗橋 祐介
- (4) AFRP 板水中接着工法による構造部材の耐力向上効果に及ぼす水中接着樹脂の影響・・・ 20
三上 浩, 栗橋 祐介, 小室 雅人

【平成 28 年度 プレ共同研究成果】

- (1) 水素社会構築のための新規脱水素触媒の開発・・・ 27
神田 康晴, 永金 雅浩, 奥田 誠, 上道 芳夫
- (2) 新しい作用機序を有する有機ゲルマニウム抗インフルエンザ薬候補物質の創製研究・・・ 30
中野 博人, 佐藤 克行, 関 千草
- (3) 多種類 MoCap データの身体動作データベースの試作・・・ 33
柴田 傑, 海賀 孝明
- (4) 多合金鋳鋼の切削加工技術の研究開発・・・ 40
清水 一道, 楠本 賢太, 原 宏哉, 伊藤 淳
- (5) 凝固速度の異なる Al-Si-Cu-Mg 合金の時効特性・・・ 44
安藤 哲也, 古川 勇
- (6) 表面改質処理層における非破壊評価手法の適用基礎研究・・・ 47
西川 詠二, 朴 峻秀, 岸本 弘立, 神田 千智

【第 28 回フロンティア技術検討会】

総合テーマ:「ものづくりルネッサンス」・・・ 51

【平成 28 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・・・ 53

【平成 28 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・・・ 57

【表紙写真】

左上: 北洋銀行ものづくりテクノフェア (H28, 7, 21) (67 頁)

右上: 道内電気計装エンジニアリング研修会 (H28, 8, 25) (63 頁)

左中: ビジネス EXP02016 (H28, 11, 10) (68 頁)

右中: メッセナゴヤ 2016 (H28, 10, 26) (69 頁)

左下: フロンティア技術検討会 (H28, 10, 28) (51 頁)

右下: 胆振次世代革新塾 (H28, 11, 17) (60 頁)

【平成 28 年度 共同研究プロジェクト成果】

大型建設機械バルブボディ用強度化厚肉鋳物の研究開発

清水 一道^{*1}, 木口 昭二^{*2}, 楠本 賢太^{*1}

1 はじめに

球状黒鉛鋳鉄は、黒鉛の先端に応力集中が生じる片状黒鉛鋳鉄に比べて球状の黒鉛によって応力集中を緩和するため優れた機械的性質を有しており、薄肉鋳物では自動車部品などに使用され、厚肉鋳物においてはキャスクやガスタービン用コンプレッサケーシングなどに幅広く利用されている。

球状黒鉛鋳鉄の基地組織は機械的性質に大きく影響することが知られている¹⁾²⁾。また、球状黒鉛鋳鉄は薄肉鋳物、厚肉鋳物を製造時、それぞれいくつかの問題が挙げられる。まず、薄肉鋳物では casting の際、レアアース(RE)の含有量によって肉厚変動部にて casting 欠陥が生じ、強度部材に必要な疲労強度に影響を及ぼす可能性がある³⁾。次に、厚肉鋳物では、鋳物の大型化、厚肉化により冷却速度が不安定となり、黒鉛の球状化作用を持つ Mg のフェーディング現象や各種元素の偏析などが生じ、黒鉛形状が崩れてしまうなどの問題が生じる。このような問題には casting 時に冷し金を導入し、冷却速度を調整することが行われている。

本研究では、大型鋳物の組織制御方法の確立を目的とし、冷し金を導入した FCD500 相当の大型厚肉鋳物を溶製し、冷却速度が異なる箇所から試験片を切り出し、冷却速度の変化による黒鉛性状等の組織及び疲労強度への影響を調査した。また、その casting 条件を casting シミュレーションソフト(JSCAST)に代入し合わせこみを行い、より実測に近い冷却速度の解析を行った。解析値と実測値を比較することで整合性を確認し、冷却速度の変化による疲労強度への影響を調査した。

2 実験方法

2. 1 供試材の製作

供試材の材質は FCD500 相当、冷し金(FCD500)を 4 本配置し casting した。供試材寸法、冷し金導入位置、熱電対配置を Fig. 1 に示す。使用した球状化剤、接種剤の化学組成はこれまでの研究と同様とした。接種は一次接種に取鍋接種、二次接種に注湯流接種を行った。本実験で使用した球状化剤の RE 含有量は 1% に統一した。各供試材の温度変化を調査するため、注湯口からの距離において表面部(A)、中央部(B)および底面部(C)の 3 か所で熱電対を使用し冷却過程の温度を測定した。この厚肉供試材より A、B、C の箇所厚さ 3mm 最小幅部 20mm の薄肉試験片を製作した。

本実験における casting 条件はこれまでの研究と同条件とし、鋳型には有機自硬性鋳型であるフラン型を使用した。注湯温度は 1606K であり、注湯時間は約 87 秒であった。

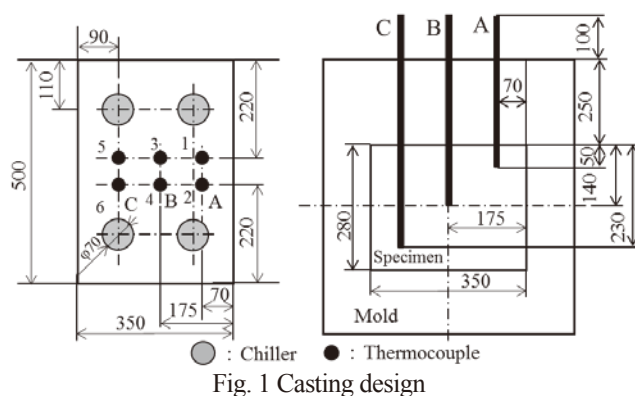


Fig. 1 Casting design

2. 2 試験片性状および実験方法

casting 試験終了後、各測定箇所において試験片を切り出した。切り出した各試験片を樹脂埋め後、黒鉛性状の測定および組織観察を行った。各試験片の組織写真を Fig. 2 に示す。本実験で用いた供試材は FCD500 相当であるため、パーライトとフェライトの混合組織および

*1: もの創造系領域 機械工学ユニット

*2: 近畿大学 理工学部 機械工学科

ブルズアイ組織が確認された。これまでの研究では、冷し金 0 本と 1 本で切出し箇所の違いにより組織に若干の変化が見られたが、冷し金を 4 本にした場合では組織に大きな差は見られなかった。各試験片における黒鉛性状とブリネル硬さを Table 1 に示す。黒鉛の球状化率は冷し金を導入した試験片では 70%を上回ったのに対し、未導入の試験片では 70%に満たなかった。球状黒鉛鑄鉄の疲労強度は硬さおよび引張強さと相関を示し、疲労強度は引張強さの約 0.5 倍、引張強さはブリネル硬さの約 3 倍の値とほとんど等しいことが報告されている⁴⁾。それを踏まえて本研究では、使用した供試材のブリネル硬さから引張強さを推定した。ブリネル硬さと引張強さの関係から、供試材の引張強さは、570~600 MPa であることが分かる。冷し金の有無によらず、パーライト率は約 80%前後と大きな差は確認されなかった。疲労試験では、平面曲げ疲労試験機を用いた。実験条件は、応力比 -1 の両振りとし、繰返し速度 20 Hz の正弦波荷重として、室温大気中にて試験を行った。試験停止条件は、試験片の負荷応力が試験時における負荷応力の 70%まで低下、または繰返し数が 10^7 回まで達した場合とし、繰返し数が 10^7 回に達した試験片の最大負荷応力を疲労強度 (σ_w) とした。

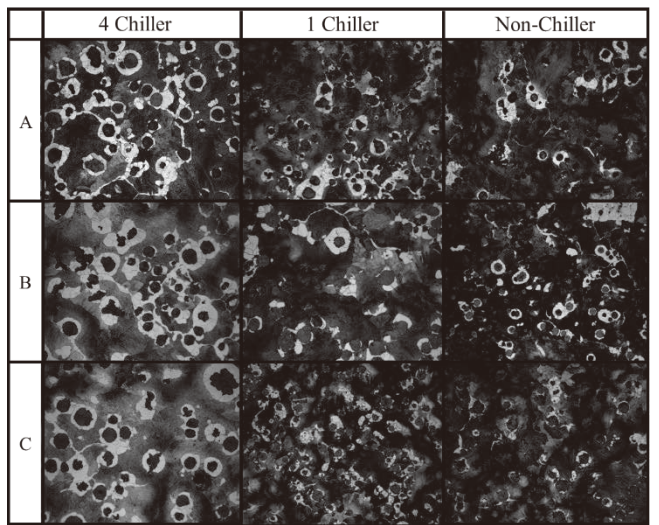


Fig. 2 Microstructure of specimens

Table 1 Graphite properties and hardness of specimens

	Spherical rate (%)	Grain number of graphite (number/mm ²)	Graphite average size (μm)	Graphite area ratio (%)	Brinell hardness (HBW)	Pearlite rate (%)
4 Chiller A	76	40	61	13	206	73
1 Chiller A	72	29	68	12	202	77
Non-Chiller A	69	26	75	13	202	82
4 Chiller B	83	35	61	10	184	68
1 Chiller B	72	42	54	11	172	75
Non-Chiller B	68	48	54	12	176	79
4 Chiller C	71	40	56	10	203	73
1 Chiller C	78	34	62	11	208	81
Non-Chiller C	67	23	81	13	212	84

3 実験結果及び考察

3. 1 凝固過程における冷却速度

冷し金 4 本における厚肉鑄物の冷却曲線を Fig. 3 に示す。本研究での冷却速度は共晶凝固終了時から 1050K となった点までの単位時間当たりの温度低下を冷却速度とした。冷却速度は切出し位置 A では約 51.4K/h、B では約 57.6K/h、C では 50.3K/h となった。冷し金 1 本と比較すると A で 12.0K/h、B で 12.2K/h、C では 11.2K/h と冷却速度が増加した。冷し金 0 本と 1 本の冷却速度の差と比較しても、4 本配置した場合における冷却速度は増加していることが分かった。

3. 2 平面曲げ疲労試験結果

各試験片の疲労強度を Fig. 4 に示す。冷し金を 4 本入れたことにより疲労強度は A で約 222MPa、B で約 223MPa、C では約 240MPa となった。冷し金 1 本導入試験片と比較すると疲労強度は 17~26%向上した。

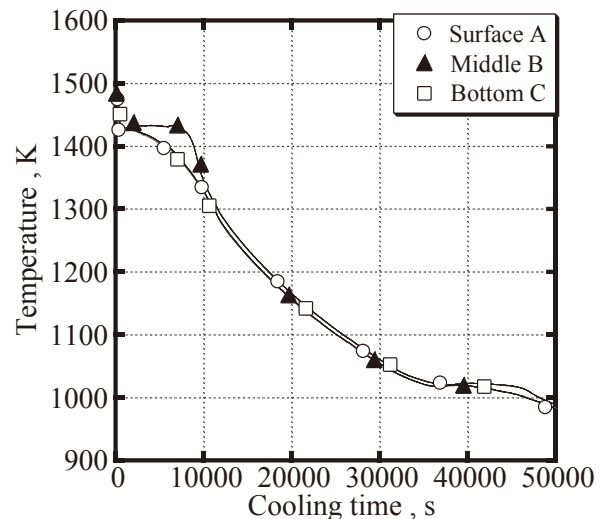


Fig. 3 Cooling curve of specimen with 4 Chiller

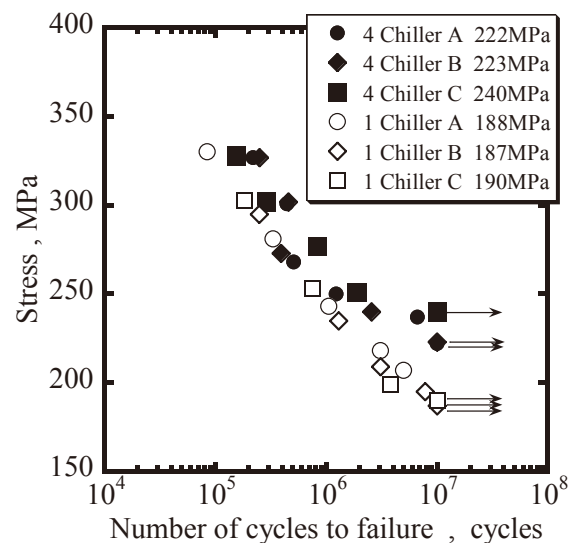


Fig. 4 S-N diagram of specimens with 1 and 4 Chiller

3. 3 考察

冷し金を4本導入した供試材において疲労強度が向上した要因を考察するため、各供試材の破面観察を行った。破断した試験片は走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて破面観察を行った。本実験で製作した供試材では、種々の切出し箇所において鑄造欠陥は確認されなかった。このことより、本実験の供試材寸法では、疲労試験を行った場合、疲労強度を低下させる要因として挙げられ、破壊の起点になりうる鑄造欠陥は発生しない。

次に、機械的性質に影響を及ぼす基地組織に着目した。SEMによる微視観察結果をFig. 5に示す。冷し金本数の増加に伴い、基地のパーライトにおけるラメラ層間隔がち密になっていた。そこで、パーライトの強度と冷却速度の相関関係を調査した。パーライト硬さと冷却速度の関係をFig. 6に示す。冷し金0本、1本の試験片と比較すると冷し金4本の試験片では硬度が約20~30HBW増加していた。冷し金の本数の増加に伴い、冷却速度が増加し、パーライトのラメラ層間隔がち密になりパーライトの硬さが増加したことで疲労強度が向上したと推察される。

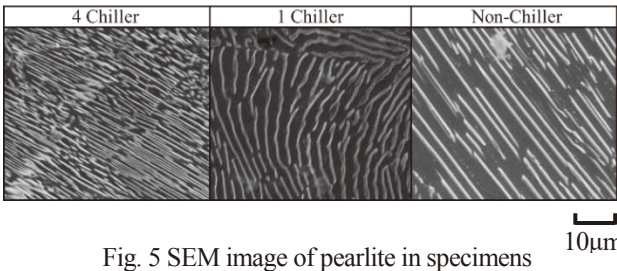


Fig. 5 SEM image of pearlite in specimens

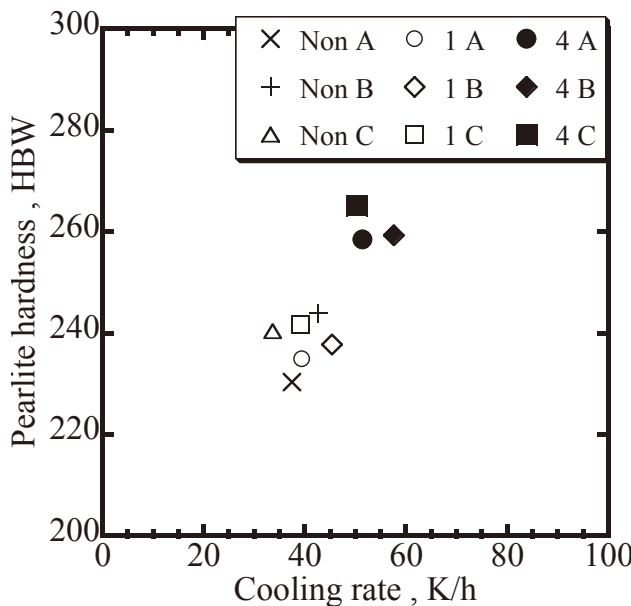


Fig. 6 Relationship between Pearlite hardness and Cooling rate

3. 4 シミュレーションでの検証

本研究では、鑄込み試験と並行しJSCASTを用いた鑄造シミュレーションを行った。実際の鑄込み試験の条件を代入し、整合性を調査した。解析結果をFig. 7に示す。冷却速度はAで約49.1K/h, Bで約57.3K/h, Cでは約49.9K/hとなった。鑄込み試験と比較しても値に大きな差はなく、傾向はおおよそ類似している。これを踏まえ、シミュレーション上で冷し金0, 1本導入した場合における冷却速度も調査した。調査の結果、シミュレーション上でも、冷し金0, 1本導入した場合は冷却速度に変化は見られなかった。冷し金を4本にしたことで冷却速度が上昇し、組織においてパーライトのラメラ層がち密となったことより、今後、鑄造方案を検討していき、シミュレーション上で基地組織などを制御することが可能となりうるということが分かった。

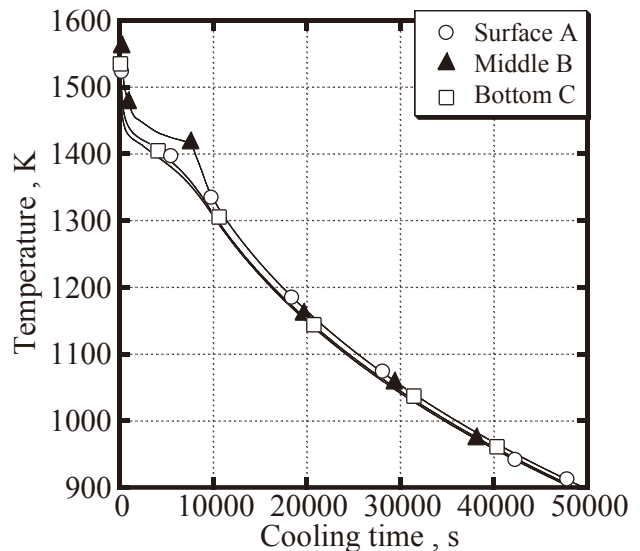


Fig. 7 Cooling curve of simulation with 4 Chiller

4 まとめ

本研究成果を以下に要約する。

- (1) 冷し金を4本導入した場合の冷却速度は、切出し箇所Aで約51.4K/h, Bで約57.6K/h, Cでは50.3K/hとなり、0, 1本と比較して4本配置した場合における冷却速度は向上した。
- (2) 冷し金を4本入れたことにより疲労強度はA, Bで約222MPaとなり、Cで約240MPaとなった。冷し金1本と比較すると疲労強度は17~26%向上した。パーライト層間隔が冷却速度の増加に伴い、ち密になることで硬度が増したことが要因と考えられる。
- (3) シミュレーションでは冷し金の本数を0, 1, 4本と増加していくと、実際の鑄込みにおける冷却過程と同様な傾向を示した。今後シミュレーション上で組織の制御が可能になりうることが示唆された。

参考文献

- 1) 中江秀雄, 清祐等 : 鋳物 52 (1980) 8 481
- 2) 近藤靖彦, 安江和夫, 磯谷三男 : 鋳物 48 (1975) 4 246
- 3) 船曳崇史, 清水一道, 河合秀樹, 山本将大 : 鋳造工学 87 (2015) 3 369
- 4) 西島敏 : 材料 29 (1980) 316 24
- 5) 晴山巧, 堀江皓, 小綿利憲, 鋳造工学 76 (2004) 11 891
- 6) 清水信善, 田村今男 : 鉄と鋼 10 (1975) 237

加速器材料としての SiC/SiC 複合材料の可能性探索

- 真空喪失時の NITE-SiC/SiC 複合材料の酸化挙動 -

朴峻秀*¹, 岸本弘立*¹, 中里直史*¹

青木正治*², 牧村俊介*³, 的場史朗*³

1 はじめに

物質を構成する最小単位は素粒子と考えられる。素粒子科学研究においてミュオン、パイオン、中性子、ケイオン等の様々な二次粒子素を大強度の陽子加速器を用いて生成する事が求められる。二次粒子の発生と効率的な輸送には高密度元素で出来た加速器ターゲット材料が好ましいことから、放熱、放射化の観点から様々な検討が行われている。現在は、ミュオンやパイオンの生成において、不活性雰囲気中の耐熱性および低放射化の観点から等方性黒鉛がターゲット材料として採用されているが、炭素(C)は基本的に低密度材料であり酸素の存在する高温雰囲気では容易に酸化されることから、加速器運転時の予期せぬ大気導入時には、酸化により放射線物質が飛散する恐れがある。

炭化ケイ素(SiC)は炭素より高密度であり、優れた耐熱性と低放射化特性を有する。[1-3] 但し、SiC はセラミックスであるため「脆性」であり、この特性は構造材料としての応用においては致命的な弱点となる。近年、SiC 繊維で SiC マトリックスを強化した SiC/SiC 複合材料が開発されており、加速器ターゲット素材としても非常に適合した素材と考えられる。本学の環境・エネルギーシステム材料研究機構 (OASIS) では他製造手法に比べて極めて緻密で結晶生の高い SiC マトリックスを有す

る SiC/SiC 複合材料の製造に関連した特有技術 (NITE プロセス) を長年研究しており、その優れた性能に対して国内外から注目されている。[4-7]

SiC/SiC 複合材料は主に SiC 繊維、SiC マトリックス及び繊維/マトリックス界面として構成される。航空宇宙分野向けの SiC/SiC 複合材料では耐酸化の観点から窒化ホウ素(BN)が用いられるが、加速器、原子力、核融合などの応用分野においては中性子吸収や核変換によるガス発生の問題から、C が繊維/マトリックス (F/M) 界面素材として用いられる。特に、C は不活性雰囲気での高い耐熱特性と共に、SiC 繊維、SiC マトリックスとの適度の結合強度、弾性係数、摩擦係数、熱膨張率を有しており SiC/SiC 複合材料の F/M 界面として非常に適していると言える。

しかしながら、C は SiC に比べて耐酸化性に乏しく、C を F/M 界面として採用している場合は酸化雰囲気での酸化に関する検討が必要である。従来の研究として SiC/SiC 複合材料の 1000°C 以上の大気酸化に関しては酸化により損耗される F/M 界面層が SiC マトリックスの保護酸化により形成される SiO₂ により塞がり、継続的な酸化は抑制される事が報告されている。[8,10]なお、加速器、核融合などへの SiC/SiC 複合材料の応用において、その使用雰囲気は高い真空状態 (10⁻⁵~10⁻⁷ Pa) であることから、酸化による SiC/SiC 複合材料の損傷は考慮する必要はない。

但し、通常運転時でも使用後に十分に冷却されていない状態でのシステムの大気開放などによる酸化雰囲気との接触や真空喪失事故 (Loss of Vacuum Accident, LOVA) 発生時での材料の健全性、寿命予測が必要であ

*1: 環境・エネルギーシステム材料研究機構

*2: 大阪大学 素粒子物理学実験研究グループ

*3: 高エネルギー加速器研究機構

る。なお、加速器、核融合炉での運転温度は 1000℃以下であり、LOVA 事故時でもシステムの停止により自然に冷却されるので、温度は下がるが、中・低温では SiO₂ の形成が遅いことから、SiO₂ による F/M 界面損耗層の自己密閉は起こらない。

本報告では加速器や核融合炉などの通常運転、LOVA 時での損耗を想定し、SiO₂ による自己密閉されない 1000℃以下酸化雰囲気での SiC/SiC 複合材料の酸化挙動を定量的に評価すると共に、事故時に確実に損耗が予想される F/M 界面層を保護する手段として化学気相蒸着 (Chemical Vapor Deposition, CVD) による SiC 耐環境被覆 (Environmental Barrier Coating, EBC) の導入による NITE-SiC/SiC 複合材料の耐酸化特性向上に関して述べる。

2 実験方法

2.1 供試材

酸化試験には NITE-SiC/SiC 複合材料、CVD-SiC 耐環境被覆を施した NITE-SiC/SiC 複合材料を用いた。なお、比較検討用として当方性黒鉛 (IG-430U, 東洋炭素社製) を用意した。NITE-SiC/SiC 複合材料の繊維強化構造は繊維を一方向 (Uni-direction, UD) に並べてシート状にした UD プリプレグシートを 0° と 90° に交互に積層したクロスプライ (Cross-ply, XP) 構造である。強化繊維は高結晶性で近化学量論組成の SiC 繊維である Hi-Nicalon Type-S (NGS アドバンスド・ファイバー社) を用いた。繊維表面には CVD 法により厚み 300~500nm 程度の薄い熱分解カーボン (PyC) 層を形成させた。本研究で用いた NITE-SiC/SiC 複合材料の密度は 3.0g/cm³ である。繊維、F/M 界面、SiC マトリックスの体積率はそれぞれ 53vol%、7vol%、40vol% である。

酸化試験の為に NITE-SiC/SiC 複合材料を幅 10mm × 長さ 10mm × 厚さ 2mm の試験片形状に加工した。試験片はダイヤモンド砥石により研削しており、鏡面研磨は施していない。

CVD 法を用いて NITE-SiC/SiC 複合材料の表面に EBC 層を形成させた。酸化雰囲気から試験片を完全に保護する為には全周被覆が必要であることから、CVD 被覆処理は穴を開けた NITE-SiC/SiC 複合材料を CVD 炉内にぶら下げた状態で 2 回行った。CVD-SiC 層の厚みは約 150μm である。なお、比較材として当方性黒鉛 (IG-430U, 東洋炭素社) を用意した。それぞれの試験片の外観を図 1 に示す。

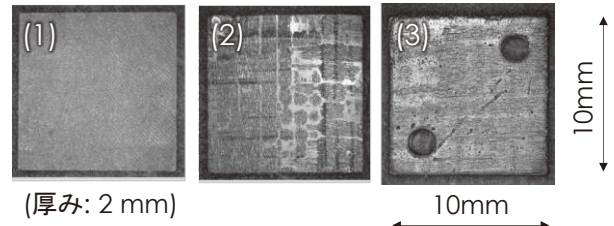


図 1 酸化試験に用いた試験片の外観, (1) IG-430U, (2) NITE-SiC/SiC, (3) CVD-SiC 被覆 NITE-SiC/SiC

2.2 酸化試験

酸化試験は赤外線ゴールドイメージ炉 (ULVAC 社製) を用いて行った。炉内での試験片位置と酸化雰囲気ガスのフロー経路を図 2 に示す。雰囲気ガスは石英製のノズルから試験片の上部から供給される。試験片は石英製の半円筒状の支持台に載せられ、ほぼ浮いた状態で石英管の内部に挿入した。炉内の全圧は 1 atm であり、雰囲気ガスの流量は 200ml/min である。酸化挙動における酸素分圧の影響を調べる為に、大気 (酸素 21%) と混合ガス (窒素+酸素 1%) の 2 種類の雰囲気ガスを用いた。

酸化試験は 400℃~1000℃の温度範囲及び 1 分~10 時間の時間範囲で行われた。図 3 のように試験片本数の制約により酸化試験では単純加熱と繰返加熱の二つの試験パターンを用いた。試験片は目標温度まで 1 分で到達できるように急速に加熱しており、保持時間経過後には炉内で冷却した。加熱・冷却中にも雰囲気ガスは継続的に供給した。よって、冷却中での冷たい雰囲気ガスが供給された事により試験片は室温まで 5 分以内に素早く冷却された。試験前後の試験片の重量は測定分解能 0.1mg の精密電子天秤を用いて測定した。

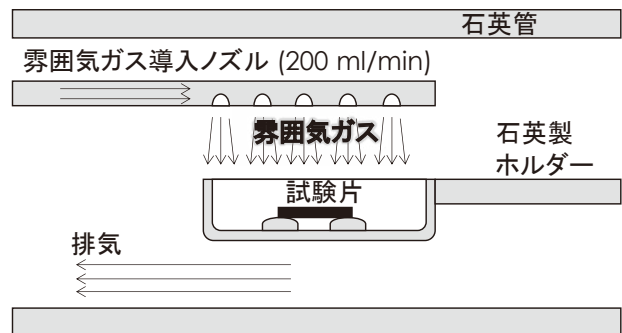


図 2 赤外線ゴールドイメージ炉を用いた酸化試験概念図

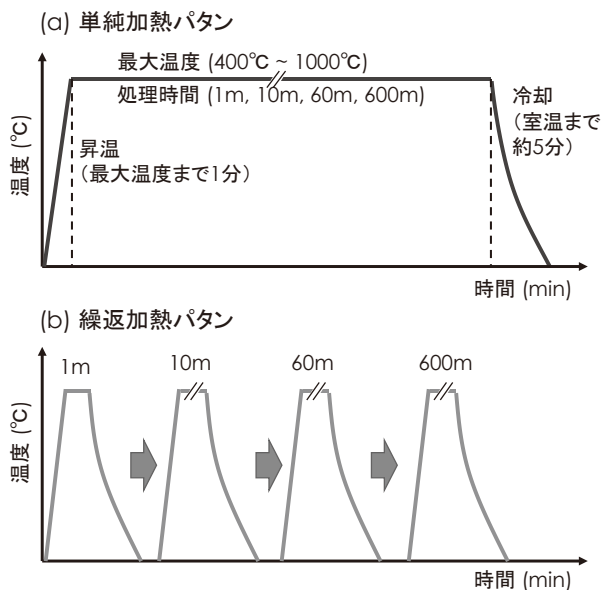


図3 酸化試験時の加熱パターン

酸化試験条件を纏めて表 1 に示す。低温側では酸化による試験片の重量減少が電子天秤で測定し難いほど小さい。なお、黒鉛の場合は高温・長時間処理で完全に焼失される事から、一部の条件では試験を行っていない。重量減少率は重量減少量を試験前の外周表面の面積と処理時間で割った数値である。本研究では試験中に酸化による試験片形状及び表面積の変化は無視する。

表 1 酸化試験条件のまとめ

	大気(酸素21%)				混合ガス(窒素+酸素1%)					
	温度 [°C]	時間 [min]				温度 [°C]	時間 [min]			
		○は繰返加熱パターン時適用の累積時間					○は繰返加熱パターン時適用の累積時間			
		1	10	60	600		1	10	60	600
IG-430U	400					400				
	600			C	C	600				
	800	M	M	M		800	M	M	M	C
	1000	C	C			1000				
NITE-SiC/SiC	400			M	M	400				
	600			M	M	600				
	800	C	M	M	C	800	C	M	M	C
	1000			M	M	1000				
CVD-SiC coat	400					400				
	600					600				
	800	C	C	C	C	800	C	C	C	C
	1000	C	C	C	C	1000				

• M : 単純加熱パターン (Monotonic heating pattern)
 • C : 繰返加熱パターン (Cyclic heating pattern)

酸化試験後には試験片を精密ダイヤモンド切断器で半分に切断した後、樹脂でマウントしたサンプルに対しダイヤモンドスラリー（粒径 3 μ m）を用いて鏡面研磨を行った。洗浄・乾燥させた試験片を FE-SEM (JSM-6700F 型, 日本電子社) を用いて表面損耗状態を観察した。

3 試験結果・考察

3.1 IG-430U の酸化挙動

図 4 に IG-430U の時間と重量減少率の相関を示す。図 5 に酸化試験後の IG-430U の断面観察写真を示す。まず、繰返加熱パターンにより処理した試験片の重量減少率には繰返し加熱・冷却時の重量減少分も含めているため、単純加熱パターンにより処理した試験片の重量減少率より若干過大評価されるが、その差は大きくない。

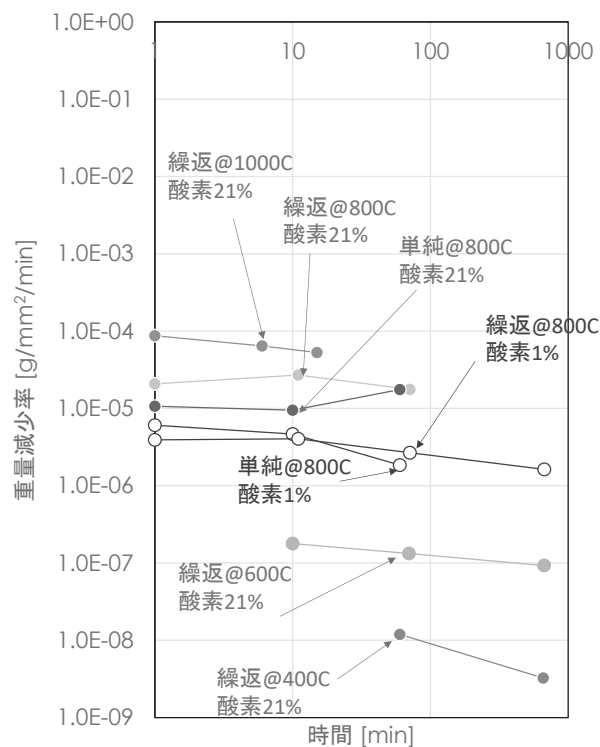


図 4 IG-430U の重量減少率と時間との相関

600°C以下では IG-430U の重量減少は非常に小さいが、試験温度の上昇に伴い重量減少率は急激に増加した。1000°C、大気雰囲気での IG-430U の重量減少率は 8.7×10^{-5} g/mm²/min 以上である。IG-430U の重量減少率は処理時間と関係なく、ほぼ一定に維持される傾向が見られる。断面観察写真でも、IG-430U は処理時間が長くなる事につれ厚みは減少しており、長時間処理では試験片は

完全に焼失している。重量減少率の計算では酸化による試験片の表面積変化は考慮していないにも関わらず、IG-430U における重量減少率の維持は酸化損耗が加速的に進んでいる事を意味する。

800°Cでの酸化試験では大気（酸素 21%）で処理した試験片の重量減少率は $1.7\sim 2.7 \times 10^{-5}$ g/mm²/min、混合ガス（窒素+酸素 1%）で処理した試験片の重量減少率は $1.6\sim 4.0 \times 10^{-6}$ g/mm²/min であった。大気雰囲気中の酸素濃度が混合ガスに比べて 21 倍高いにも関わらず、重量減少率は 6~10 倍程度に止まっており、期待値より低い結果となった。これは C と O との反応により試験片の表面に形成される CO、CO₂ ガス層による酸化反応抑制機構の存在が疑われるが、補足検討による検証が必要である。

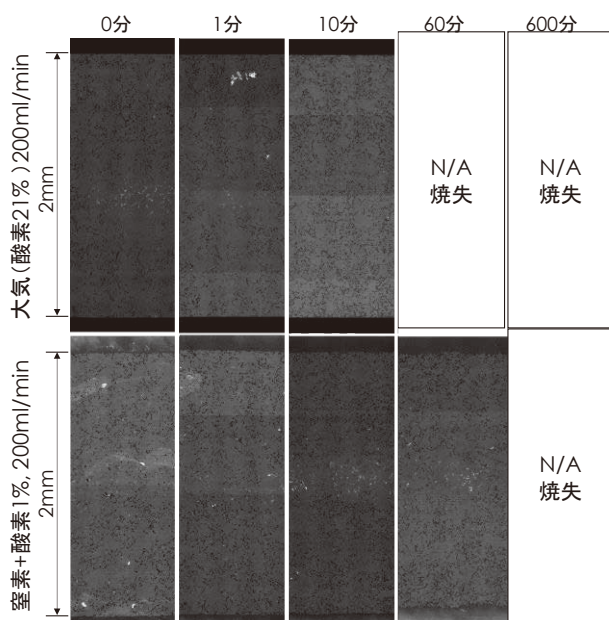


図 5 800°Cの大気又は混合ガスでの酸化試験後の IG-430U の断面

3.2 NITE-SiC/SiC 複合材料の酸化挙動

NITE-SiC/SiC 複合材料の重量減少率と処理時間との相関を図 6 に示す。NITE-SiC/SiC 複合材料の重量減少率は IG-430U と全く異なる傾向を示している事がわかる。また、温度、酸素濃度が重量減少率に及ぼす影響も確認出来ない。しかし、NITE-SiC/SiC 複合材料の重量減少率は処理時間に強く依存する。800°C、大気（酸素 21%）で 1 分処理した試験片の重量減少率は $3.6 \text{ g} \times 10^{-5}$ /mm²/min であったが、重量減少率は時間の経過に伴い、急速に減少した。

大雑把に NITE-SiC/SiC 複合材料に含まれる PyC の

体積率・重量率を計算するとそれぞれ 7.0 vol%と 4.6 wt%である。NITE-SiC/SiC 複合材料の重量損失は主に F/M 界面層である PyC の損耗によるものであり、酸化試験後の PyC の残量が推定できる。図 7 に NITE-SiC/SiC 複合材料の PyC 残量と重量減少率との相関を示す。単純加熱パターンによる酸化試験で用いられたそれぞれの試験片は含まれる SiC 繊維、F/M 界面、SiC マトリックスの量が少しばらつく事から、試験結果において誤差が比較的大きい。しかし、繰返加熱パターンを用いた試験結果においては同一試験片を用いている事から、重量減少率と PyC 残量との明白な相関が見える。IG-430U の酸化試験では重量減少率が時間経過と共にほぼ一定であったことから、これらの強い相関を単純に残っている炭素の損耗のみで説明する事は困難である。

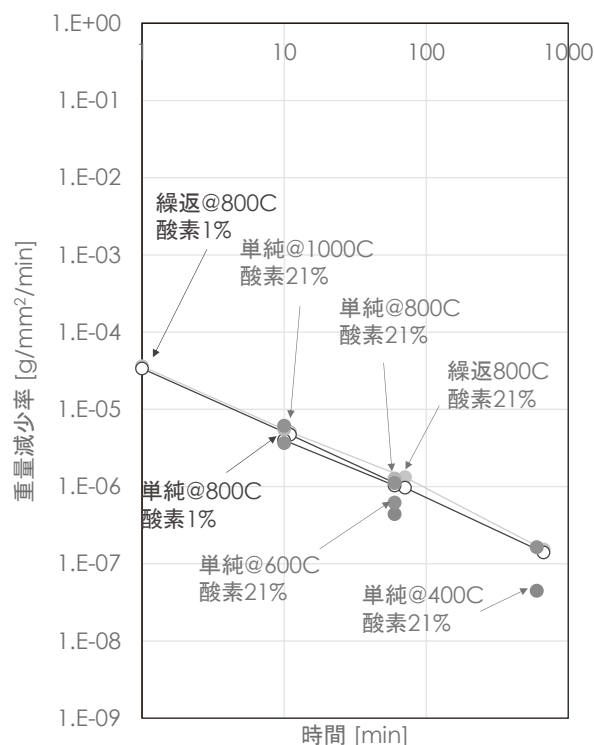


図 6. NITE-SiC/SiC 複合材料の重量減少率と処理時間との相関

酸化試験後の NITE-SiC/SiC 複合材料の断面観察写真を図 8 に示す。NITE-SiC/SiC 複合材料の厚みは変化しておらず、SiC 自体は本酸化試験条件では損耗されない事から当然な結果と言える。図 9 に酸化試験後の繊維束の拡大写真を示す。酸化試験後に F/M 界面層の PyC が焼失している束(図 9(a))とまだ健全に残っている束(図 9(b)) が混在していた。図 7 の結果から推定されるように、図 9 で示している試験片の場合は酸化試験後でも約

40%のPyCがまだ残っていると考えられる。

NITE-SiC 単体及び NITE-SiC/SiC 複合材料は分子の小さい H₂ 及び He においても非常に優れたガス気密性を示す。[13,14] 前述しているように、本酸化試験に用いた NITE-SiC/SiC 複合材料は 0°/90° XP 繊維強化構造を有しており、UD プリプレグシートの交合積層により形成された物である。厚さ方向に積層された繊維束は束間の SiC マトリックスにより分離されている。

これらの SiC 繊維束と SiC マトリックスの積層構造により上下方向からは雰囲気ガスは浸透し難く、機械加工により露出されている試験片側面から PyC の酸化が進むことが考えられ、酸化は側面から徐々に浸透していく。

さらに、図 9(a)で見える様に、繊維とマトリックス間のギャップは約 300nm 程度に過ぎず、NITE-SiC/SiC 複合材料の内部へ雰囲気ガスは浸透し難い。

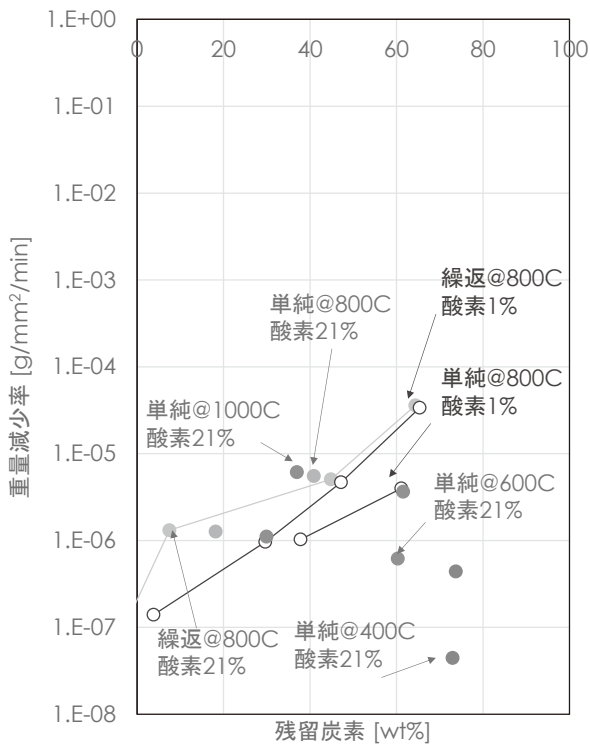


図 7. NITE-SiC/SiC 複合材料中の残存 PyC と重量減少率との相関

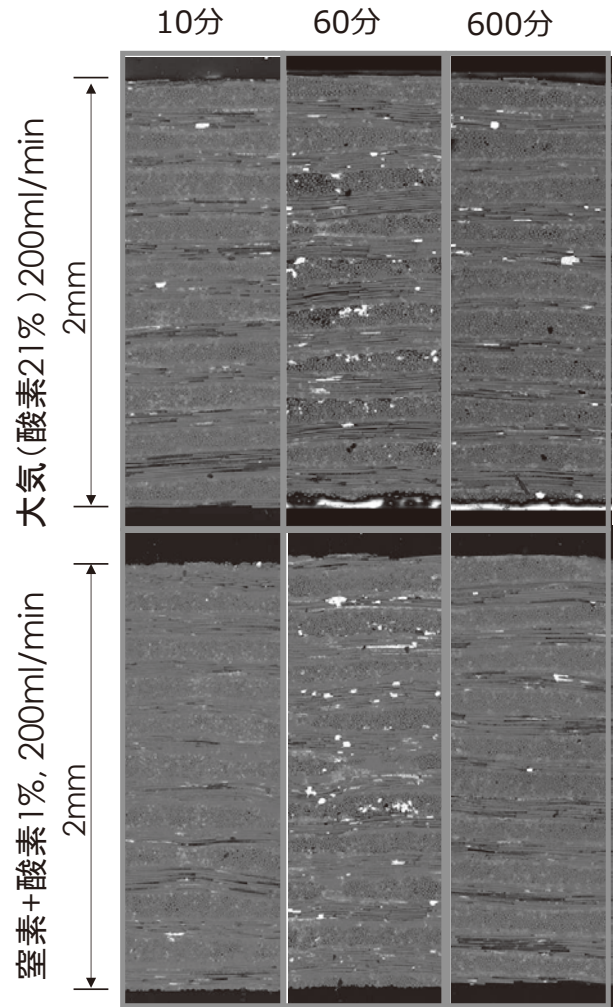


図 8. 酸化試験後の NITE-SiC/SiC 複合材料の断面

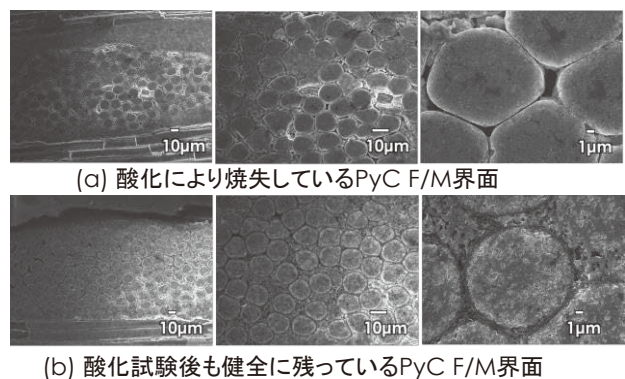


図 9. 酸化試験後の NITE-SiC/SiC 複合材料中の繊維束 (800℃, 混合ガス(窒素+酸素 1%), 繰返加熱パターン, 処理時間 671 分)

3.1 CVD-SiC 被覆した NITE-SiC/SiC の酸化挙動

CVD-SiC 被覆した NITE-SiC/SiC 複合材料の重量減少率と処理時間との相関を図 10 に、酸化試験後の断面観察写真を図 11 に示す。CVD-SiC 被覆した NITE-SiC/SiC 複合材料の非常に優れた耐酸化特性が確認出来た。温度、酸素濃度の影響は無視出来る。処理時間が重量減少率に影響を及ぼしている様に見えるが、CVD-SiC 被覆した NITE-SiC/SiC 複合材料の酸化による重量減少の絶対値が電子天秤の測定限界に近い事から断言出来ない。

図 11 で示しているように、F/M 界面層である PyC が酸化試験後でも健全な微細組織を保っており、CVD-SiC 被覆した NITE-SiC/SiC 複合材料の酸化による損耗は明確に確認出来ない。CVD-SiC 単体による全面被覆は NITE-SiC/SiC 複合材料に含まれている PyC の保護に非常に効果的である事が証明できた。

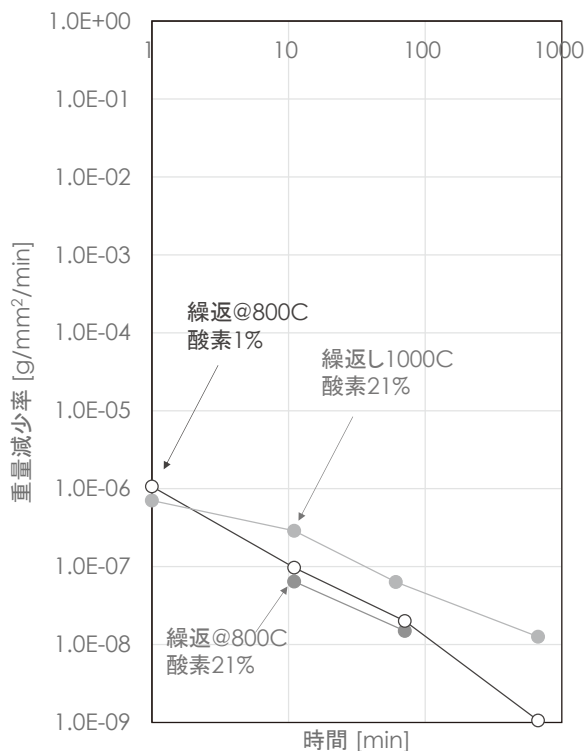


図 10. CVD-SiC 被覆した NITE-SiC/SiC 複合材料の重量減少率と処理時間との相関

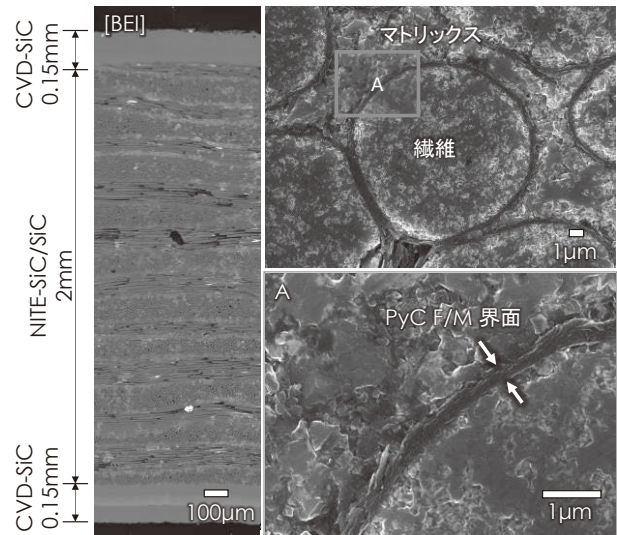


図 11. CVD-SiC 被覆した NITE-SiC/SiC 複合材料の酸化試験後の断面 (大気(酸素 21%), 800°C)

5 おわりに

加速器ターゲット材として SiC/SiC 複合材料は有望であり、結晶性が高く緻密な SiC マトリックスが形成できる NITE プロセスを用いた SiC/SiC 複合材料製ターゲットの開発が行われている。通常運転及び LOVA 時を想定した NITE-SiC/SiC 複合材料の耐酸化挙動を評価した。IG-430U に比べて、NITE-SiC/SiC 複合材料は高い耐酸化特性を示している。しかしながら、重量減少率と処理時間との相関及び酸化試験後の断面観察から、雰囲気ガスは SiC/SiC 複合材料の側面から浸透し、PyC を酸化損耗させることが分かった。一方で、CVD 法により SiC 単体層を全表面に形成させた NITE-SiC/SiC 複合材料は被覆なしの NITE-SiC/SiC 複合材料と比較して高い耐酸化特性を示しており、断面観察でも PyC の酸化損耗の痕跡は見つからない事から、SiC 単体層は耐環境被覆層として効果的である事が確認できた。なお、OASIS により試作した NITE-SiC/SiC 複合材料製ターゲットは国内での加速器での実用テストのみならず CERN でのテストも行われている。今後、本研究が素粒子科学研究に少しでも貢献出来る事を期待する。

文献

- (1) G.R. Hopkins, Silicon carbide and graphite materials for fusion reactors. Proc. IAEA Symp. on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research (59th ed.), IAEA-CN-33/s3-3, Tokyo, Japan, International Atomic Energy Agency, Vienna (1974)

- (2) S.J. Zinkle, N.M. Ghoniem, Operating temperature windows for fusion reactor structural materials, *Fusion Engineering and Design*, 51-52, 2000, p55-71
- (3) T. Nishitani, H. Tanigawa, T. Nozawa, S. Jitsukawa, M. Nakamichi, T. Hoshino, T. Yamanishi, N. Baluc, A. Möslang, R. Lindou, S. Tosti, E.R. Hodgson, S. Clement Lorenzo, A. Kohyama, A. Kimura, T. Shikama, K. Hayashi, M. Araki, Recent progress in blanket materials development in the Broader Approach, *Journal of Nuclear Materials*, 417, 2011, p1331-1335
- (4) A. Kohyama, S. M. Dong and Y. Katoh, "Development of SiC/SiC Composites by Nano-Infiltration and Transient Eutectoid (NITE) Process," *Ceramic Engineering and Science Proceedings*, 23 (3), 2002, p311-318.
- (5) S.M. Dong, Y. Katoh, A. Kohyama, Processing optimization and mechanical evaluation of hot pressed 2D Tyranno-SA/SiC composites, *Journal of the European Ceramic Society*, 21, 2003, p.1223-1231
- (6) K. Shimoda, J.S. Park, T. Hinoki, A. Kohyama, Microstructural optimization of high-temperature SiC/SiC composites by NITE process, *Journal of Nuclear Materials*, 386-388, 2009, p634-638
- (7) A. Kohama, J.S. Park, H.C. Jung, Advanced SiC fibers and SiC/SiC composites toward industrialization, *Journal of Nuclear Materials*, 417 (1-3), 2011, p340-343
- (8) R.R. Naslain, R. J.-F. Paillet, J.L. Lamon, Single- and Multilayered Interphases in SiC/SiC Composites exposed to severe environmental conditions: An Overview, *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 7 (3), 2010, p263-275
- (9) W. Yang, A. Kohyama, T. Noda, Y. Katoh, T. Hinoki, H. Araki, J. Yu, Interfacial characterization of CVI-SiC/SiC composites, *Journal of Nuclear Materials*, 307-311, 2002, p1088-1092
- (10) Y. Chai, X. Zhou, H. Zhang, Effect of oxidation treatment on KD-II SiC fiber-reinforced SiC composites, *Ceramics International*, 43, 2017, p9934-9940.
- (11) J.E. Antill, J.B. Warburton, Active to passive transition in the oxidation of SiC, *Corrosion Science*, 11[6], 1971, p337-342
- (12) T. Narushima, T. Goto, T. Hirai, Y. Iguchi, High-temperature oxidation of silicon carbide and silicon nitride, *Materials Transactions*, 38[10], 1997, p821-835
- (13) T. Hino, E. Hayashishita, Y. Yamauchi, M. Hashiba, Y. Hirohata, A. Kohyama, Helium gas permeability of SiC/SiC composites used for in-vessel components of nuclear fusion reactor, *Fusion Engineering and Design*, 73, 2005, p51-56
- (14) D. Hayasaka, J.S. Park, H. Kishimoto, A. Kohyama, Gas leak tightness of SiC/SiC composites at elevated temperature, *Fusion Engineering and Design*, 109-111, 2016, p1498-1501

既設四径間連続曲線鈹桁橋の固有振動特性に関する 現地振動実験及び数値解析的検討

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道路橋が建設されており、今後、建設後 50 年以上経過した道路橋は急増することになる。一般的な道路橋の耐用年数は 50 年といわれており、これらの橋梁を安全に供用し続けるには、損傷・劣化度診断技術や合理的な補修・補強工法の確立が重要である。

近年、既設橋梁の維持管理や劣化度診断を行う手法として、橋梁の固有振動特性の経年劣化に着目した評価法（SHM）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災害等における損傷の有無を評価するものである。

著者らの研究グループでは、これまで北海道内の多数の橋梁を対象に現地振動実験を実施し、固有振動数や固有振動モードの特定を行ってきた。さらに、有限要素法による固有振動解析結果と実験結果との比較によって、橋梁の健全性評価を試みてきた¹⁾³⁾。しかしながら、既往の研究では、比較的長い多径間橋梁に対する検討はあまり実施されていないのが現状である。

このような観点より、本研究では、建設後 28 年が経過した既設四径間曲線鈹桁橋を対象に、今後の合理的な維持管理を行う上で重要と考えられる現時点の固有振動特性評価を目的として現地振動実験および固有振動解析を実施した。

2 橋梁概要

本研究で対象とした橋梁は、北海道内にある曲線橋（橋長 144 m、曲線半径 $R \approx 200$ m）であり、昭和 63 年（1988 年）に竣工された四径間連続曲線鈹桁橋である。写真 1 には対象橋梁の全景を、また図 1 には対象橋梁主径間部の一般図および断面図を示している。橋梁は 4 主桁で構成されており、床版には 6 %の横断勾配が付いている。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 橋梁全景

表 1 対象橋梁の諸元

型 式	四径間連続曲線鈹桁橋
橋 長	144 m
支 間	36 m
幅 員	車道 8.5 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

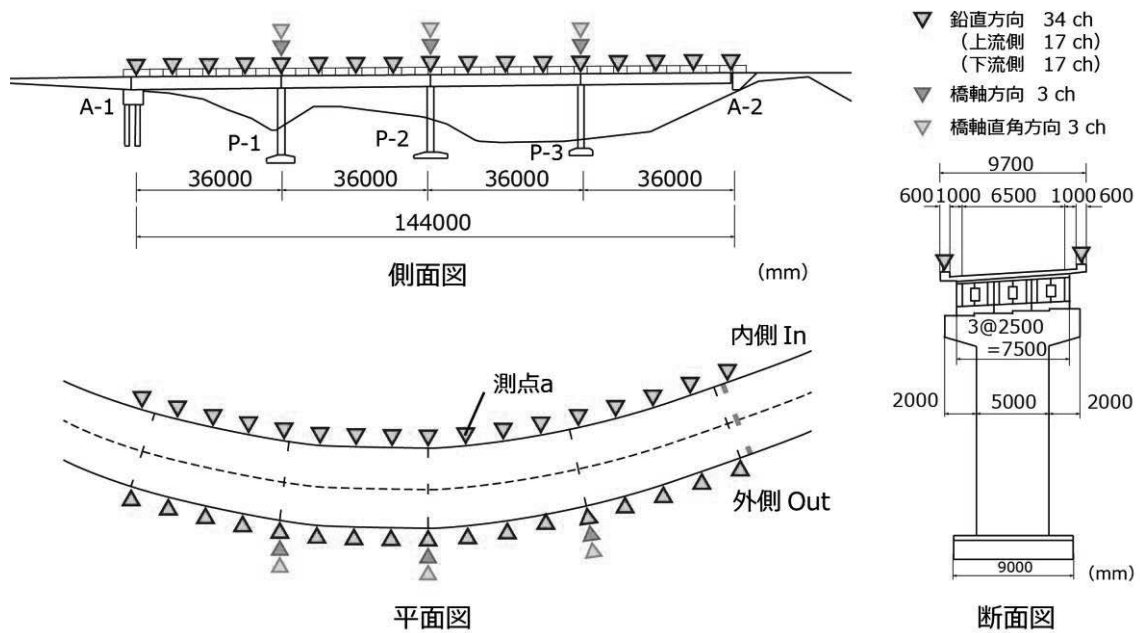


図1 主径間部の一般図および振動計配置図

3 振動実験の概要

3.1 振動計の配置

橋梁の振動モード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加速度計を橋梁上部工に40点設置した。ここでは、曲げおよびねじり振動モードを特定するために両側の地覆部に計34点（感度方向：鉛直方向、片側17点）、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、P-1、P-2、P-3橋脚上の外側地覆に計6点（感度方向：橋軸方向および橋軸直角方向）の振動計を設置した。

3.2 実験方法

実験は、常時微動および大型車両走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。橋梁振動は重量調整された大型車両（20 ton ダンプトラック）を幅員中央部に走行させることによって励起させることとし、車両走行速度、走行台数を変えた全13ケースの加速度データを測定した。なお、大型車両走行後は速やかに交通規制を行い、他の交通振動を排除することにより自由振動状態を確保した。

計測は、図2に示す計測システムを用いて、振動計から出力される加速度データをデジタルレコ



写真2 大型車両による実験状況

ーダーにて一括収録した。なお、サンプリング時間は5 msec とした。写真2には大型車両を用いた振動実験状況を示している。

得られた加速度波形をもとにフーリエスペクトル解析から得られる卓越振動数や位相スペクトルを用いて、固有振動モードおよび固有振動数の特定を行った。



図2 計測システム

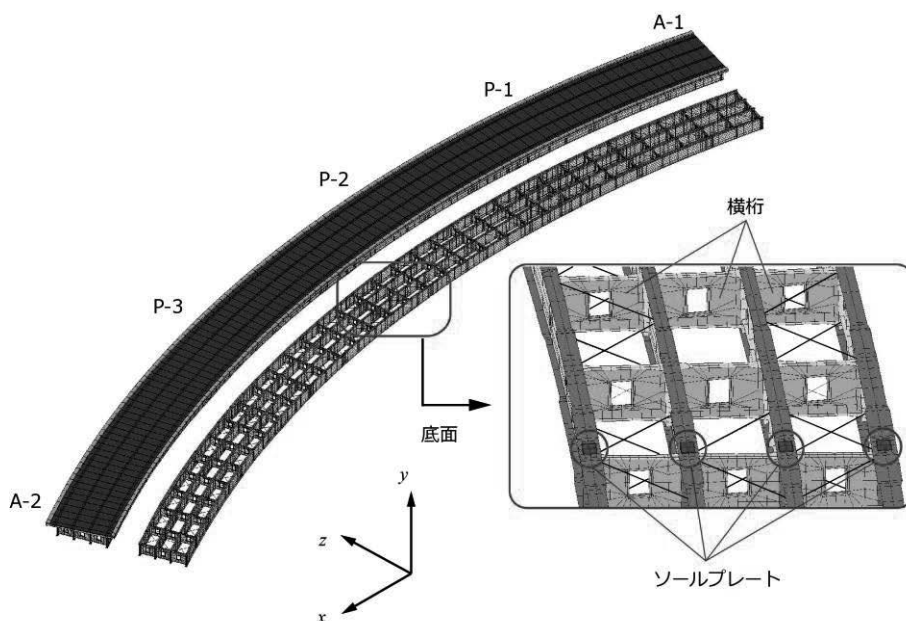


図3 有限要素モデル

3.3 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、以下の過程に基づいて実施した。すなわち、

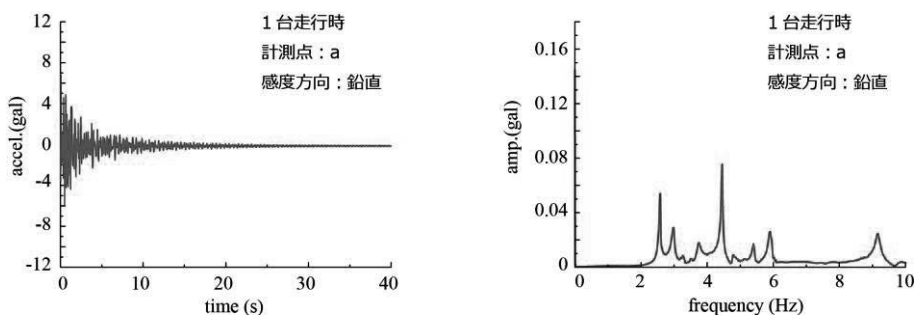
- 1) 常時微動状態、および大型車両通過後の自由振動状態における全加速度波形を収録する。
- 2) 全測点の収録波形に関する 120 秒間について FFT 処理を施し、フーリエスペクトルを求める。
- 3) 主要な測点において計測された応答波形のフーリエスペクトルから固有振動数と考えられる卓越振動数を抽出し、フーリエスペクトル、位相スペクトル分布を用いて波形を生成する。
- 4) 固有振動モードを求めるために、3)で求めた各測点における卓越振動数近傍のフーリエスペクトル、位相スペクトル分布を用いて波

形を生成する。

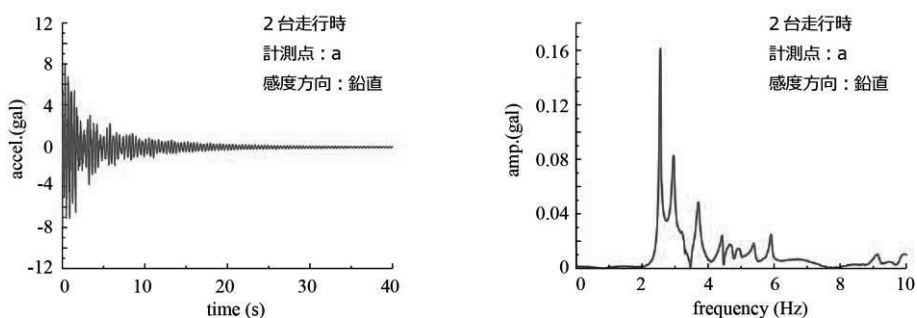
- 5) 4)で求められた各測点の加速度波形について、振幅の大きい測点の波形を基準にして 1/8 周期毎に橋軸方向全測点における振幅値を用いて振動モードを求め、モードの節および腹の位置が各周期で移動せず、振動モードが連続していないことを確認し、固有振動モードを決定する。

4 数値解析の概要

数値解析モデルは建設当時の設計図書を参考に可能な限り詳細にモデル化を行った。図3には、数値解析に用いた有限要素モデルを示している。主桁などの鋼材部には 4 節点シェル要素、RC 床版部には 8 節点ソリッド要素、上下横構には 2 節



(a) 1台走行時



(b) 2台走行時

図4 加速度波形の一例とそのフーリエ振幅 ($V=50$ km/h)

点ビーム要素を用いた。なお、高欄や橋脚、橋台に関しては、振動特性に及ぼす影響が小さいと考えられることから、本研究ではモデル化を省略した。総節点数および総要素数はそれぞれ 42,670, 37,267 である。表 2 には、使用した物性値を一覧にして示している。

境界条件は、図 3 に示すソールプレートの節点に与えることとし、設計条件に基づき、A1 橋脚の支承を固定支承、他の橋脚の支承を理想的な可動支承とした。なお、数値解析には構造解析用汎用プログラム ABAQUS⁴⁾を使用した。

表 2 材料物性値一覧

材料	弾性係数 (GPa)	ポアソン比	単位体積質量 (ton/m ³)
鋼材	200	0.3	7.85
RC 床版	25	0.167	2.40
アスファルト	98	0.35	2.30

5 実験結果および考察

5.1 計測加速度波形とフーリエスペクトル

図 4 には、実験結果の一例として、図 1 に示す測点 a における大型車両通行後 ($V=50$ km/h) の加速度波形と、その加速度波形から得られたフーリエ振幅を示している。図より、最大加速度振幅は走行台数で異なり、1 台走行時では最大 6.8 gal, 2 台走行時では最大 8.0 gal 程度の加速度振幅が得られている。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。また、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、固有振動モードの特定を行った。

5.2 振動モード分布

図 5 には、図 4 に示した加速度スペクトルをもとに特定された振動モードを示している。全ての

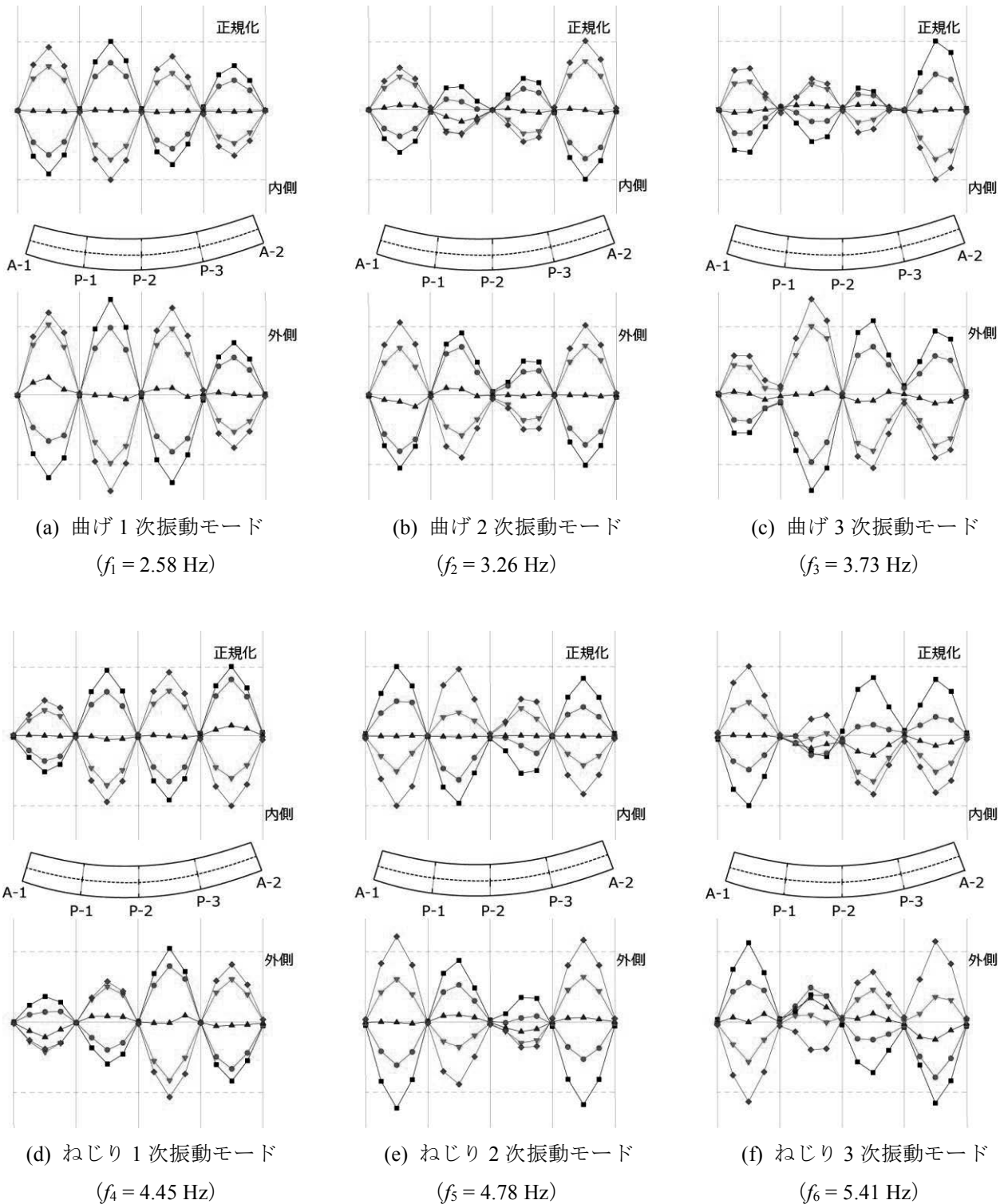


図 5 振動モード分布 (1 台走行時, $V = 50$ km/h)

振動モードは内側の最大振幅が 1 となるように正規化している。図中の点線は、基準となる内側の正規化振幅を示しており、振動モード分布は 1/8 周期ごとに表示している。

図 5 より、曲げ 2 次、3 次およびねじり 2 次、3

次振動モードにおいて支点上で若干の振動が確認されるものの、その他では節と腹が明確に現れており、本振動実験では、ねじり 3 次振動モードまでの 6 つの振動モードの特定ができたものと考えられる。

表3 実験条件および数値解析結果による固有振動数の比較

振動モード	固有振動数 (Hz)					
	実験結果				固有振動解析結果	
	1台走行	2台走行			設計条件	固定条件
	50 km/h	50 km/h	40 km/h	30 km/h		
曲げ1次振動	2.58	2.55	2.58	2.57	2.45	4.06
曲げ2次振動	3.26	3.28	3.24	3.22	2.74	4.51
曲げ3次振動	3.73	3.71	3.72	3.72	3.64	4.68
ねじり1次振動	4.45	4.43	4.45	4.45	-	-
ねじり2次振動	4.78	4.75	4.76	4.73	-	-
ねじり3次振動	5.41	5.39	5.34	5.38	-	-

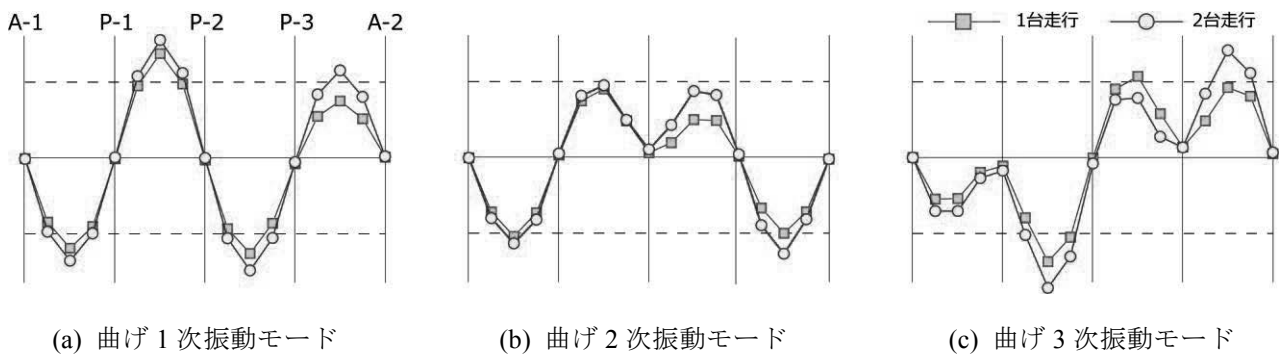


図6 振動モード分布比較 (外側, $V=50$ km/h)

また、各固有振動モードを詳細に着目すると、最低次固有振動モードである曲げ1次振動モード (a 図) に関しては、各径間の振幅に若干の差異が見られるもののほぼ対称の振動モード分布であることが分かる。一方、曲げ2次振動を含む高次振動モードでは、各径間の振幅が異なり、必ずしも対称とはなっていない。これは、本実験では車両走行後の減衰自由振動波形をもとにモードを特定していることから、高次振動モードになるほど対称な振動モードを特定することは難しいことを示唆している。なお、内側と外側の振幅を比較すると、後者の方が前者よりも大きく示されている傾向が見られる。これは、曲線桁特有の現象であり、ねじり剛性の影響によるものと考えられる。

5.3 車両走行速度が固有振動数に及ぼす影響

表3には、本実験結果により特定された代表的な実験ケースにおける固有振動数を、後述の固有振動解析結果と比較して示している。なお、固有振動解析では、設計条件 (理想的な可動支承) の他に支承条件を全て固定支承に変更した場合の結

果についても示している。

表より、実験結果の固有振動数に着目すると、車両走行速度および走行車両数にかかわらず固有振動数はほぼ等しい値を示している。これより、車両走行速度が固有振動数に及ぼす影響は小さいことが分かる。

5.4 車両走行台数による振動モード分布の比較

図6には、車両台数が1台および2台の場合について、曲げ3次振動モードまでを比較したものである。ここでは、車両走行速度 $V=50$ km/h の場合における橋梁外側の振動モード分布を示している。

図より、1台および2台走行時における振動モード分布を比較すると、いずれの場合も節と腹が明確に確認できることが分かる。さらに、いずれの振動モードにおいても、2台走行時の振幅が1台走行時のそれよりも大きく示されている。このことは、車両走行時に励起される橋梁の振動振幅は、走行台数によって影響を受けることを示唆している。

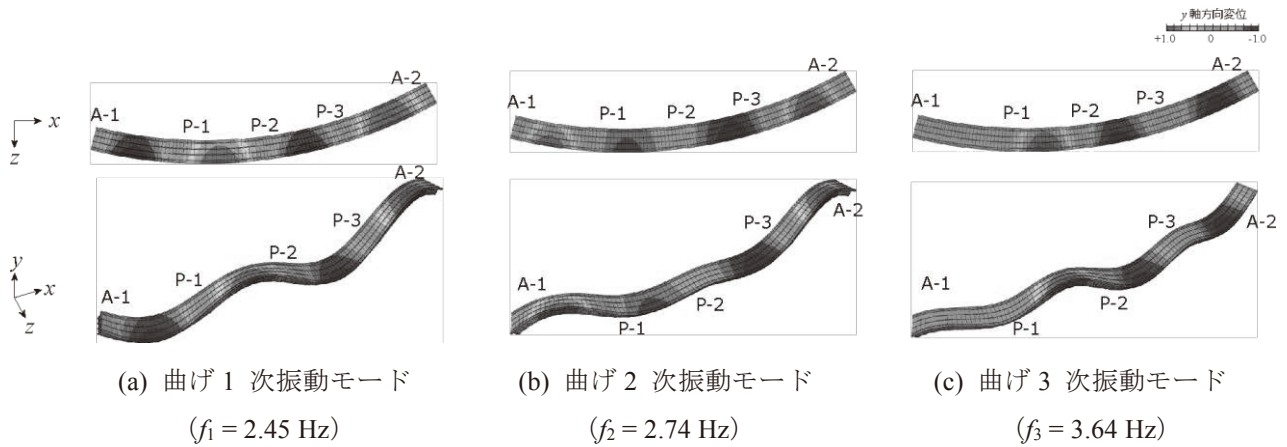


図7 固有振動解析から得られる振動モード分布（支承：設計条件）

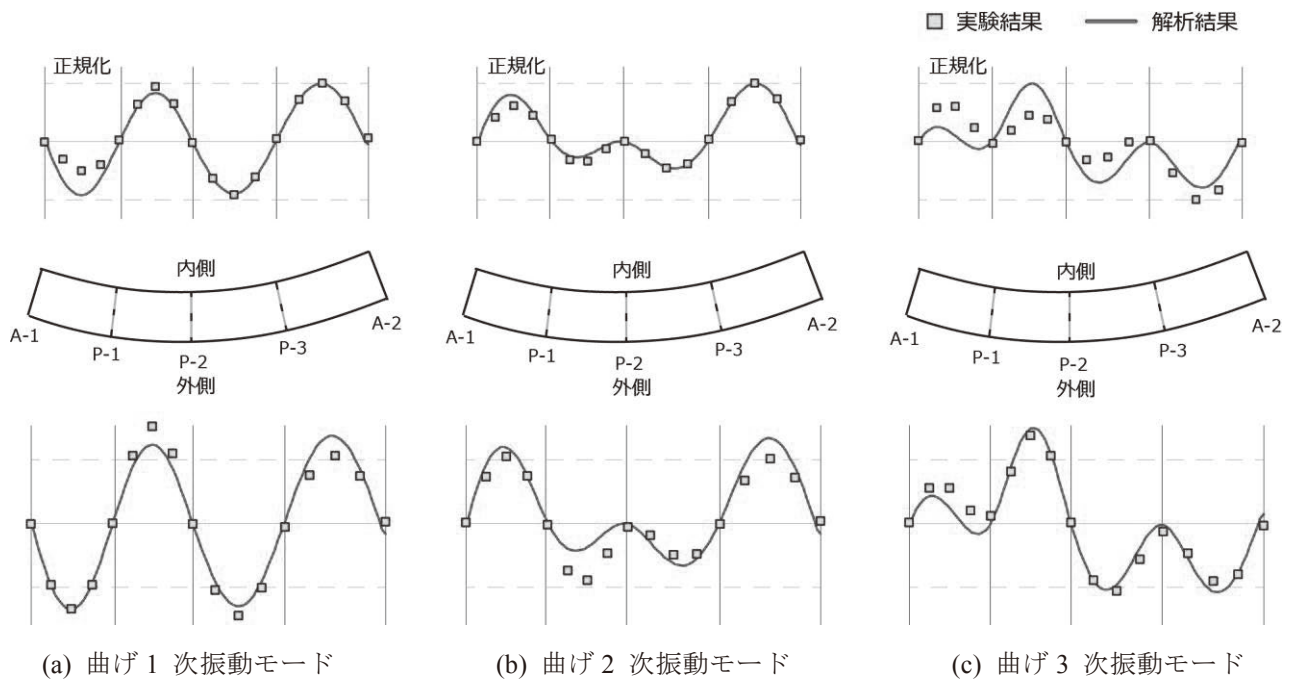


図8 振動モード分布の比較

これより、比較的長い橋梁の固有振動特性を適切に把握する場合には、橋梁に与える起振力が大きいほど効果的であることが確認される。

6 固有振動解析結果と実験結果の比較

6.1 固有振動モードの比較

図7には、支点条件を設計条件とした場合の固有振動解析から得られた曲げ振動モード（変形倍率：10,000倍）を示している。また、図8には実験結果と解析結果から得られる振動モードを比較して示している。なお、前述のように実験結果か

らは、ねじり振動モードも特定されているが、本数値解析結果からはそれらに対応する振動モードは確認されていない。この点に関しては今後の検討課題としたい。

図8より、曲げ1次（a図）、曲げ2次振動モード（b図）に着目すると、数値解析結果では、いくつかの径間で実験結果と異なる形状を示しているものの、全体的には両者はほぼ一致していることが分かる。また、（c）図に示す曲げ3次振動モードの場合にも、内側のモード分布に若干の差異が見られるものの、外側の分布形状は概ね一致しているものと判断される。

6.2 固有振動数の比較

表3より、解析結果の固有振動数に着目すると、設計条件（理想的な可動支承）の場合には、いずれの振動モードにおいても実験結果よりも小さいことが分かる。一方、全ての支承条件を固定支承とする場合には、いずれの場合も実験結果よりも固有振動数は大きく示されていることから、実橋梁の支承は、設計条件と固定支承の間に位置しているものと考えられる。このことは、実際の可動支承には、摩擦抵抗が存在することから、これらの影響を解析モデルに適切に反映させる必要があることを示唆している。

以上より、本橋梁は設計図書に基づいた有限要素モデルによる固有振動解析結果と実験結果を比較すると、橋梁の全体系に及ぼす大きな損傷や劣化はなく、建設当時の健全性を有しているものと推察される。

7 まとめ

本研究では、既設四径間連続曲線鋼桁橋の固有振動特性の把握を目的として、現地振動実験および有限要素法による固有振動解析を実施した。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固有振動モードを特定した。
- 2) 曲げ振動において内側と外側で振幅が異なることを確認した。これは曲線橋特有の現象である。
- 3) 本実験結果と数値解析結果を比較すると、低次の固有振動モードおよびその振動数は概ね一致している。
- 4) 3) より、本橋梁は当初設計時から大きな損傷はなく、建設当時の健全性を有していると推察される。

謝 辞

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、同研究室の今井勇輝君（現株式会社新技術コンサル）にご助力を頂いた。ここに深く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 小室雅人, 川瀬良司, 栗橋祐介, 岸 徳光: 二径間連続非合成曲線鋼桁橋の固有振動特性に関する現地振動実験, 土木学会北海道支部論文報告集, CD-ROM, 72, A-42, 2015.
- 2) 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.
- 3) 山本修司, 小室雅人, 川瀬良司, 岸 徳光: 床版打換えによる鋼合成桁橋の固有振動特性に関する実験的検討, 鋼構造年次論文報告集, 21, 825-831, 2013.
- 4) ABAQUS Analysis User's Manual, Ver. 6.13, Dassault Systèmes Simulia Corp.

AFRP 板水中接着工法による構造部材の耐力向上効果 に及ぼす水中接着樹脂の影響

三上 浩*1, 栗橋 祐介*2, 小室 雅人*2

1. はじめに

近年、耐震設計法の改定によって既設鉄筋コンクリート (RC) 橋脚を対象とした補強工事が盛んに行われている。また、地震の巨大化や発生頻度の増加に伴い、耐震補強工事が急速に進められている。最近では、耐震補強工法の 1 つとして連続繊維シート接着工法が数多く採用されている。ここで、河川橋脚等の水中構造物の場合には、施工部を乾燥状態にするために構造物周辺の仮締切工事を行うことが通例である。このため、この種の構造物の耐震補強工事は陸上での補強工事に比較して膨大なコストを要することより、未だ限定的にしか実施されていないのが現状である。そのため、仮締切工事が不要な安価で効率的な工法の開発が喫緊の課題となっている。

著者らはこのことに着目し、予めアラミド繊維シート (以後、AFRP シート) にエポキシ系樹脂を含浸硬化した AFRP 板を水中硬化型接着樹脂を用いて接着補強する工法を考案し、検討を行ってきた。

既往の研究では、提案の工法を用いて曲げ補強やせん断補強した RC 梁に関する静載荷実験を行い、気中接着と同程度まで耐力を向上可能であることを明らかにしている^{1) 2)}。しかしながら、水中での施工が可能な接着樹脂の種類を変化させた場合に関する補強効果の検討は未だ行われていないのが現状である。

このような背景より、本研究では接着樹脂の種類を変化させて水中接着曲げ補強した場合の補強効果の検討を目的に、AFRP 板を用いて水中接着曲げ補強した RC 梁の静載荷実験を行った。

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、無補強試験体に加え、施工・養生環境および水中接着に用いる樹脂を変化させた試験体の全 4 体である。試験体名の内、第 1 項目は施工・養生環境 (N: 無補強, A: 気中, W: 水中) を示し、第 2 項目の数字は AFRP シートの繊維目付量 (単位: g/m^2) を示している。また、第 3 項目の英字は水中硬化型接着樹脂の種類 (A: 水中硬化型 A, B: 水中硬化型 B) を示している。

2.2 補強材の RC 梁への接着方法および実験方法

気中接着補強は、あらかじめ梁底面のシート接着部にプライマー処理を施した後に、汎用のエポキシ系接着樹脂を梁底面に塗布し、事前含浸した AFRP シートを接着することで実施した。水中接着補強は、気中で AFRP 板と水中硬化型接着樹脂を一体化させ、大型水槽内に設置した RC 梁の所定の位置に配置し、圧着した状態で 5 日間程度水中養生する工程で実施した。なお、接着部のコンクリート表面にはショットブラスト処理 (処理深さ 1 mm 程度) を施し、AFRP 板の接着面には、5 号珪砂による砂付処理を施している。水中接着は、接着樹脂の可使用時間 (30 分程度) 内に接着作業を完了し、樹脂の厚さは圧着後 3 mm 程度になるように施工した。

載荷実験は、RC 梁を単純支持状態で設置し、容量 200 kN の油圧ジャッキを用いて 4 点曲げ載荷試験法により行った。水中接着補強した RC 梁の載荷実験は、十分な水中養生を行った後に試験体を水槽から引き揚げ、直ちに行うこととしている。本実験の測定項目は、荷重、スパン中央部の変位 (以後、変位)、および AFRP シート各点の軸方向ひずみ (以後、ひずみ) である。また、実験時には RC 梁のひび割れを連続的に撮影し、実験終了時には破壊状況を撮影している。

*1: 三井住友建設 (株)

*2: 暮らし環境系領域 社会基盤ユニット

表-1 試験体の一覧

試験体名	施工・養生環境	繊維目付量 (g/m ²)	接着樹脂	計算曲げ 耐力 P_u (kN)
N	気中	-	-	55.3
A-A415		415	汎用エポキシ系	84.8
W-A415-A	水中硬化型 A			
W-A415-B	水中硬化型 B			

表-2 AFRP シートの力学的特性値 (公称値)

繊維 目付量 (g/m ²)	保証 耐力 (kN/m)	厚さ (mm)	引張 強度 (GPa)	弾性 係数 (GPa)	破断 ひずみ (%)
415	588	0.286	2.06	118	1.75

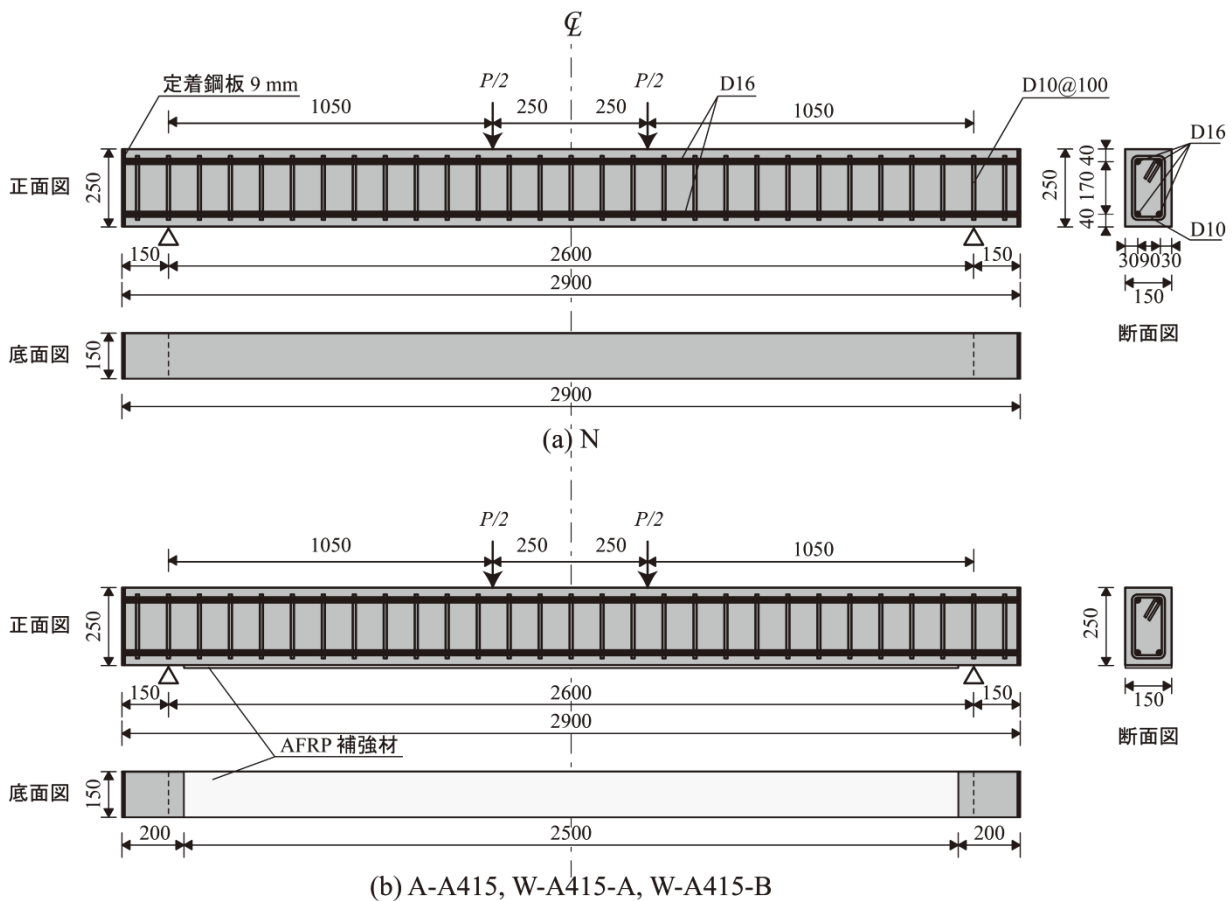


図-1 試験体の形状寸法、配筋状況および補強概要

2.3 接着樹脂の性能比較

表-3, 表-4 には, 水中硬化型接着樹脂の性状を一覧にして示した. 本研究に用いた水中硬化型接着樹脂は 2 種類であり, いずれも 2 種混合型のエポキシ系接着樹脂である. 本研究では水中での接着

に用いた水中硬化型接着樹脂の圧縮強度試験を行った. 圧縮強度試験に用いる供試体は JIS K 7181 に準拠し, 直径 $\phi = 25$ mm, 高さ $H = 50$ mm の円柱供試体を作製した.

円柱供試体は $\phi 25$ の塩ビパイプを 50 mm の長

表-3 水中硬化型樹脂 A

項目	主剤	硬化剤	混合物
主成分	エポキシ樹脂	ポリアミドアミン	
外観	白色パテ状	暗灰色パテ状	灰色パテ状
混合比	主剤：硬化剤 = 1 : 1		
可使時間	30 分 (25 °C)		
初期硬化	約 2 時間		

表-4 水中硬化型樹脂 B

項目	主剤	硬化剤	混合物
主成分	エポキシ樹脂	ポリアミドアミン	
外観	灰白色パテ状	暗緑色パテ状	灰色パテ状
混合比	主剤：硬化剤 = 1 : 1		
可使時間	30 分 ± 10 分 (23 °C, 500 g, 水を付けて混合)		
初期硬化	約 12 時間 (20 °C)		

さに切断し、既定の水分量となるよう水を加えて練り混ぜた水中硬化型接着樹脂を充填することにより、各水中硬化型接着樹脂につき 3 体ずつ作製した。供試体の圧縮試験は圧縮試験機を用いて行った。圧縮試験の測定項目としては圧縮試験機のロードセルにて圧縮強度を、供試体側面に貼り付けたひずみゲージにて縦ひずみを測定した。载荷試験後には応力-ひずみ関係より弾性係数を算出し、水中硬化型接着樹脂の性能比較を行った。

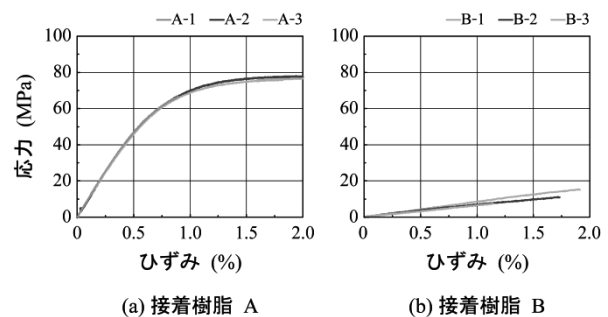


図-2 各試験体の応力-ひずみ関係

3. 実験結果

3.1 接着樹脂の圧縮強度試験結果

図-2 には水中硬化型接着樹脂の圧縮強度試験にて計測した応力-ひずみ関係を示している。水中硬化型接着樹脂 A と水中硬化型接着樹脂 B を比べると初期勾配が大きく異なっている。これより、材料の弾性係数には大きな違いがあると分かる。表-5 には水中硬化型接着樹脂の圧縮強度および弾性係数を一覧にして示している。水中硬化型接着樹脂 A は弾性係数の平均値が 9.84 GPa 程度であるのに対し、水中硬化型接着樹脂 B は 0.68 GPa 程度となっており、圧縮強度よりも弾性係数に大きな違いがあることが分かった。

3.2 RC 梁試験体の荷重-変位関係

図-3 には、RC 梁試験体の荷重-変位関係に関する実験結果および計算結果を示している。計算結果は、土木学会コンクリート標準示方書³⁾に準拠して

断面分割法により算出したものである。

図より、N 試験体は荷重が 55 kN 程度まで増加した後に主鉄筋が降伏し、変位が増加している。一方、気中および水中で補強した試験体を見ると鉄筋が降伏した後も変位と共に荷重が増加していることが分かる。各試験体ごとに計算結果と実験結果を比較すると、A-A415 試験体は計算結果と同様の性状を示しており、主鉄筋降伏後の剛性勾配も概ね一致している。また、計算結果の上縁コンクリート圧壊後も荷重が増加し、90 kN 程度に到達した後にシートの剥離によって終局を迎えている。W-A415-A 試験体および W-A415-B 試験体では、主鉄筋降伏後の剛性勾配は計算結果と概ね一致していることが分かる。しかし、両試験体とも計算結果を下回る荷重で上縁コンクリートが圧壊し、変位が 50 mm 程度でシートの剥離が発生し終局を迎えている。これは、

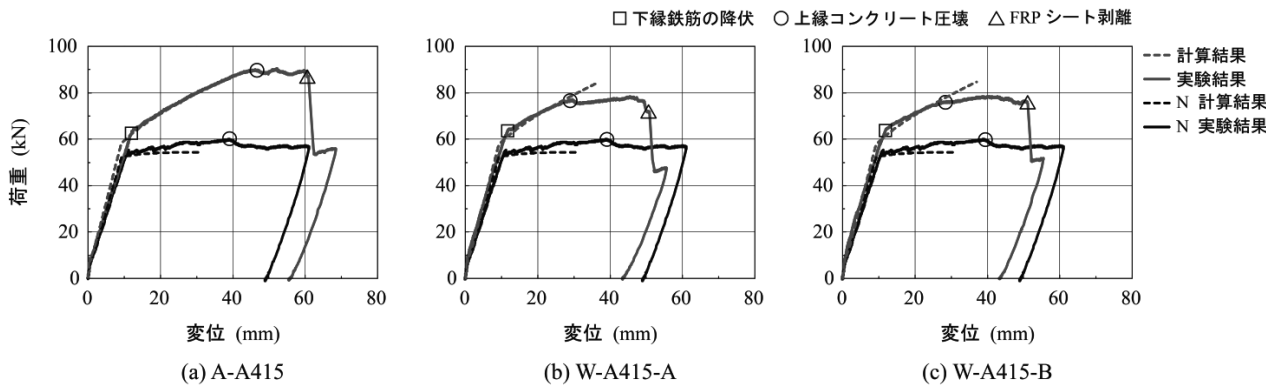


図-3 RC 梁試験体の荷重－変位関係の実験および計算結果の比較

表-5 水中硬化型接着樹脂の圧縮強度，弾性係数

樹脂の種類	供試体番号	圧縮強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
水中硬化型 A	1	79.8	10.3
	2	78.1	9.64
	3	77.8	9.61
	平均値	78.6	9.84
水中硬化型 B	1	47.6	0.77
	2	42.7	0.63
	3	40.5	0.63
	平均値	43.6	0.68

水中に梁を浸漬することによりコンクリートの圧縮強度が低下し，早期に圧壊が発生していることによるものと考えられる．尾上らの研究では，湿潤時のコンクリートの圧縮強度は乾燥時よりも約 10 ~ 20 % 程度低下することを明らかにしており⁴⁾，施工・養生環境が水中であること，補強前に試験体を長時間水没させていること，水中から試験体を取り出して 1 日程度以内に荷重試験を実施していることから，試験体が湿潤状態にあり早期に圧壊が発生したものと考察される．

3.3 ひび割れ性状

写真-1 には，AFRP シート補強した各試験体の剥離直前のひび割れ性状を示している．各試験体ごとに見ると，A-A415 試験体は荷重点近傍から発生したせん断ひび割れが梁底面にすりつくように進展し，ピーリング作用を引き起こすことでシートが下げられシートの剥離につながっている．W-A415-A 試験体は 2 本程度の斜めひび割れがピーリング作用を引き起こし，シート剥離が発生していることが分かる．W-A415-B 試験体も W-A415-A 試験体と同様のひび割れ性状を示し，3 本程度の斜めひび割れがピーリング作用を引き起こしている．以上より，水中接着した両試験体の剥離直前のひび割れ性状が

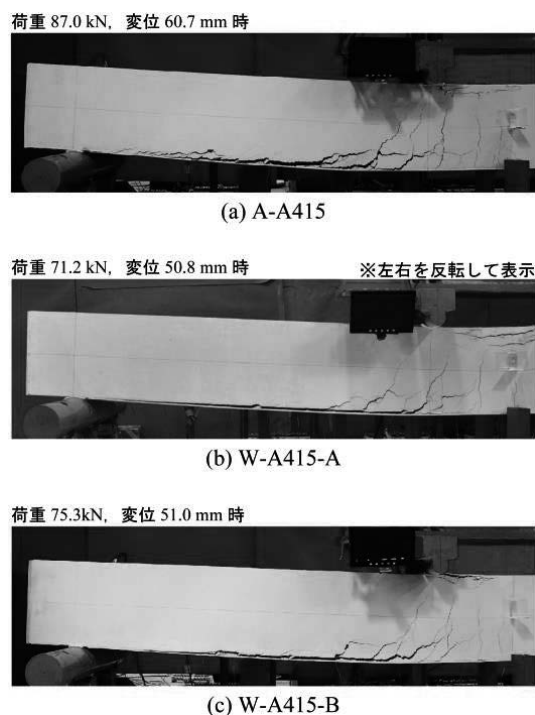


写真-1 剥離直前のひび割れ性状

ら見た耐荷性状は，ほぼ同様であるものと考えられる．

3.4 ひずみ分布性状

図-4 には AFRP シートのひずみ分布性状を断面分割法による計算結果の各変位時ごとに，実験結果と計算結果を比較して示している．ここで，中間変位時とは降伏変位時と終局変位時の中間の変位時のことである．

実験結果と計算結果を比較すると，計算降伏変位時にはどの試験体も両者はほぼ一致している．計算中間変位時および計算終局変位時にはどの試験体も計算結果より低い値を示している．これは，圧壊が発生した時点で計算は終了するが実験では圧壊が早期に発生していることや荷重点外にもひび割れが発

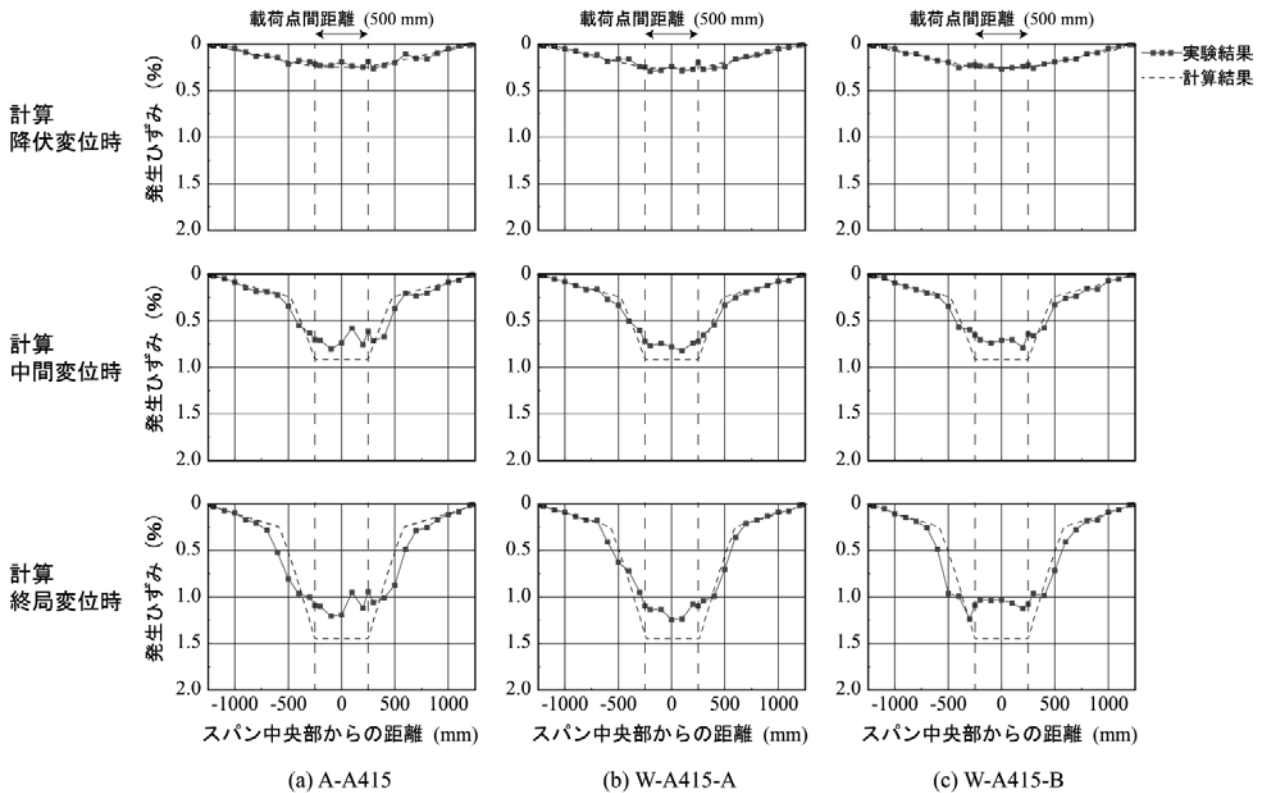


図-5 各変位時における AFRP シートのひずみ分布

生していることが原因の一つと考えられる。

各試験体ごとにひずみ分布を比較すると、どの試験体も大きな差は見られないが、W-A415-B 試験体の計算中間変位時および計算終局変位時を見ると計算結果よりもひずみの分布範囲が広がっている。これは、W-A415-B 試験体の接着に用いた水中硬化型接着樹脂 B の弾性係数が低いことより、シートと梁底面の間でひずみの均一化が発生し、分布範囲が広がったものと推察される。これは、弾性係数が比較的近い汎用のエポキシ樹脂を用いた A-A415 試験体と W-A415-B 試験体のひずみの分布範囲が類似していることからもうかがわれる。

4. まとめ

本研究では水中硬化型接着樹脂を変化させた場合における耐荷性状の検討を目的として、水中硬化型接着樹脂と AFRP 板を用いて水中接着曲げ補強した RC 梁に対して静載荷実験を行った。本研究の範囲内で得られた知見をまとめると以下のとおりである。

- 1) 水中硬化型接着樹脂の圧縮強度試験の結果、水中硬化型接着樹脂 A および水中硬化型接着樹

脂 B には弾性係数に 10 倍以上の大きな差異が認められた。

- 2) 補強した試験体の曲げ載荷試験の結果、水中に長期間浸漬し、水中で施工・養生した試験体は圧縮強度が低下し、圧壊が早期に発生する可能性がある。
- 3) 物性の異なる水中硬化型接着樹脂を接着に使用した場合でも RC 梁の耐荷性状に大きな差はない。

今後は、RC 梁の他、H 形鋼梁に適用する場合についても検討し、提案工法の汎用性を向上させることにより、種々の既設構造物のメンテナンスの高度化に貢献することができるものと考えている。

参考文献

- 1) 三上 浩, 岸 徳光, 栗橋祐介: 水中硬化型接着樹脂と AFRP 版を用いて水中補強した RC 梁の静載荷実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, pp.1327-1332, 2010.
- 2) 杉本成司, 栗橋祐介, 三上 浩, 岸 徳光: AFRP 帯で水中接着せん断補強した RC 梁の耐荷性

状, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, pp.1183-1188, 2014.

- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書[設計編], 土木学会, 2012.
- 4) 尾上幸造, 松下博通：液体浸漬によるコンクリートの静的圧縮強度低下に関するエネルギー的考察, 土木学会論文集E, Vol.64 No.4, 515-525,

2008. 10.

- 5) アラミド補強研究会：アラミド繊維シートによる鉄筋コンクリート橋脚の補強工法設計・施工要領(案), 1998.
- 6) 土木学会：連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針, コンクリートライブラリー101, 2000.

【平成 28 年度 プレ共同研究成果】

水素社会構築のための新規脱水素触媒の開発

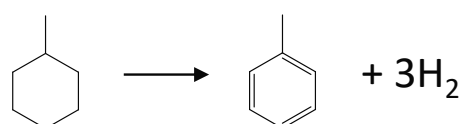
神田康晴*1, 永金雅浩*2, 奥田誠*2, 上道芳夫*1

1 はじめに

地球温暖化の防止のため、二酸化炭素(CO₂)を排出しない水素社会の構築が望まれている。現在、トヨタ自動車や本田技研工業が燃料電池自動車を市販しているが、使用される水素(H₂)は70MPa程度の高圧ガスとして充填されている。しかし、H₂は液化することで、同一容積でも効率的に輸送・貯蔵が可能となるものの、H₂の沸点は-253°Cと低いことから、輸送・貯蔵に適した液体にする際に、エネルギー多消費型のプロセスとなってしまう。また、このように非常に低温の液化水素を輸送・貯蔵するためには、専用のトレーラーや設備などが必要であり、莫大なコストが必要となる。

現在、新たな輸送法として有機ハイドライド法が検討されている。この方法では、芳香族のような有機化合物とH₂を反応させることで液体の水素化物(環状飽和炭化水素)とし、H₂の輸送・貯蔵を行う。種々の有機ハイドライドがH₂の輸送・貯蔵媒体として検討されているが、液体状態である温度範囲および毒性の観点からメチルシクロヘキサン(MCH)/トルエン(TOL)系が主流となっている。なお、上記のMCHおよびTOLはガソリンや灯油などの石油製品と同様に取り扱うことが可能である。したがって、有機ハイドライド法には輸送・貯蔵に関わるインフラ整備が最小限になるといった利点がある。MCH/TOL系の有機ハイドライド法では、TOLの水素化反応とMCHの脱水素反応が行われ、それぞれに触媒を用いる必要がある。TOLの水素化反応は200°C程度で行うため、脱メチルなどの副反応は起こりにくい。一般に、脱水素反応は吸熱反応であることから、反応温度を高くする必要がある。MCHの

脱水素反応(下式参照)は300°C前後で行われるため、水素化反応と比較すると脱メチルなどの副反応が起こりやすい。



そのため、高効率かつ副反応を抑えた脱水素触媒の開発が行われている。Pt/Al₂O₃触媒は優れたMCH脱水素活性とTOL選択率を示すが、失活しやすいという欠点がある。この触媒に第2元素を添加することで、活性と選択性の向上を図る研究が多くなされている。とくに千代田化工では、Pt/Al₂O₃に硫黄を添加した触媒を開発しており、Pt表面が部分的に硫化しているために副反応が抑制されることを明らかにしている¹⁾。

先に、著者らは、水素化および脱水素反応の触媒として使用される貴金属にリンを添加し、高温で還元することで貴金属リン化合物が生成し、貴金属リン化合物触媒は水素化脱硫反応、水素化脱窒素反応などの多くの反応に対して貴金属触媒よりも高い活性を示すことを報告している²⁾。前述の硫黄を添加した場合と同様に、貴金属粒子の表面をリン化することでも副反応を抑制できると考えられる。そこで本研究では、新たな系の脱水素触媒を開発するため、貴金属リン化合物のMCH脱水素反応に対する触媒活性を検討した。

2 実験方法

2.1 触媒調製

貴金属(NM)およびリン添加貴金属(NM-P)触媒は含浸法により調製した。出発物質として、貴金属塩化物(RhCl₃・3H₂O, PdCl₂, RuCl₃・3H₂O, H₂PtCl₆・3H₂O)およびリン酸二水素アンモニウム(NH₄H₂PO₄)の水溶液を使

*1: 暮らし環境系領域 物質化学ユニット

*2: 株式会社フレイン・エナジー

用した。NM 担持量は 1 wt%, P 担持量は 0.3 wt% とし、担体には SiO₂ または Al₂O₃ を使用した。

NM-P 触媒は下記の手順で調製した。出発物質を含む水溶液を蒸発乾固することで担体に NM および P を担持した。その後、110°C で 24h 乾燥した触媒は塩の分解をするため、N₂ 気流中、450°C で 1h 熱処理した。熱処理後、30-42 mesh に整粒した触媒を空气中 500 °C で 4h 焼成した。なお、NM 触媒も同様の方法で調製した。

Al₂O₃ 担体に Rh と P を逐次含浸法により担持した P/Rh/Al₂O₃ 触媒は下記の方法で調製した。RhCl₃・3H₂O 水溶液を用いた含浸法で Al₂O₃ に Rh を担持し、乾燥・塩の分解(N₂ 気流中、450°C, 1h)を経て Rh/Al₂O₃ 触媒を得た。さらに、この触媒に対してトリフェニルホスフィン((C₆H₅)₃P, TPP)のキシレン溶液を用いた含浸法で P 担持を行ったものを P/Rh/Al₂O₃ 触媒とした。なお、TPP 担持後は TPP の酸化および分解を防ぐため、整粒と乾燥のみを行った。

2.2 MCH の脱水素反応

NM および NM-P 触媒による MCH の脱水素反応は常圧固定床流通式反応器を用いて行った。石英製反応管内に触媒を 0.05 g 導入し、ガラスウールもしくは石英ウールで固定した。反応前に、触媒は H₂(20 ml/min) 中で室温から 350-750°C まで昇温(10°C/min)し、1h 還元した。還元処理後、N₂(32.8 ml/min)で H₂ をパージしながら反応温度(300°C)まで冷却した。前処理を行った触媒に反応物としてメチルシクロヘキサンを供給(0.043 ml/min)し、脱水素反応を 180 min 間行った。反応中は 10 min 毎に気体試料、30 min 毎に液体試料をサンプリングした。なお、反応により得られた液体試料はガスクロマトグラフ GC-2025(島津製作所, 検出器: FID), 気体試料はガスクロマトグラフ GC-8A(島津製作所, 検出器: TCD)を用いて分析した。

3 NM-P/SiO₂ および P/Rh/Al₂O₃ 触媒の脱水素活性

3.1 NM-P/SiO₂ 触媒の脱水素活性の経時変化

図 1 に NM-P 触媒の MCH 脱水素活性の経時変化を示す。いずれの触媒も反応初期で大幅に失活した。そこで、これ以降は反応 0-30 分の結果を用いて活性を評価する。なお、液体生成物から考えられる H₂ の収率よりも実際の H₂ 収率の方が多かったため、この活性低下は炭化水素からの過剰な脱水素によるコーキングや重質化などが原因として考えられる。

3.2 NM-P および NM 触媒の脱水素活性に対する還元処理温度の影響

図 2 に還元処理温度と NM-P および NM 触媒の脱水

素活性の関係を示す。還元処理温度が高いと NM 触媒の脱水素活性は低下することがわかった。これは NM 粒子のシンタリングが原因として考えられる。NM-P 触媒でも同様の傾向が見られたが、Rh-P 触媒の脱水素活性は還元温度 550°C で最大となった。以上のことから、NM-P 触媒において Rh-P 触媒のみが対応する NM 触媒よりも高い脱水素活性を示すことを明らかにした。さらに、Rh-P 触媒の TOL 選択率(99.6%)は Rh 触媒(88.1%)のよりも高かった。

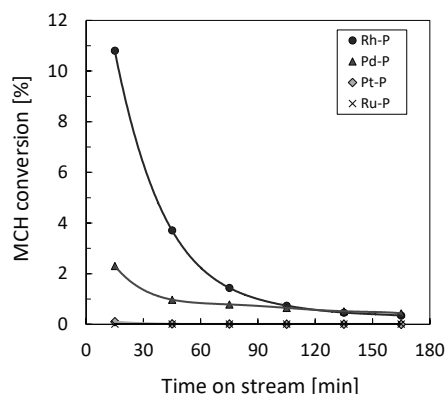


図 1 NM-P 触媒の MCH 脱水素活性
還元温度 Rh-P, Pd-P, Pt-P : 550°C, Ru-P : 450°C

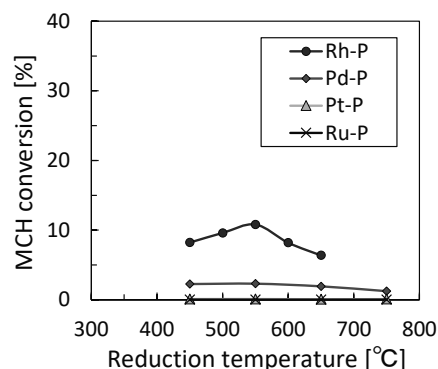
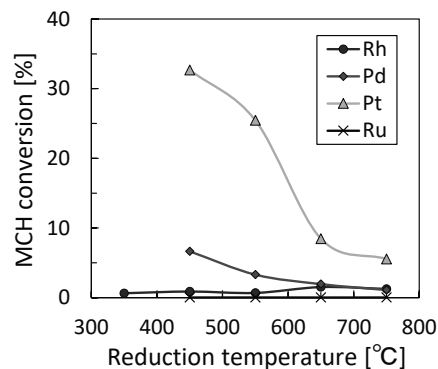


図 2 NM および NM-P 触媒の MCH 脱水素活性
に対する還元温度の影響

先に我々は、還元温度 550°C で処理した Rh-P 触媒は高い水素化脱硫活性を示し、これはリン化ロジウム (Rh₂P) の生成によるものであると報告している^{2,3,5-7)}。Rh-P 触媒の脱水素活性は還元温度 550°C で最大となったことから、この還元温度で処理すると Rh₂P が生成することで高い脱水素活性かつ高い TOL 選択性が得られたと考えられる。

3.3 P/Rh/Al₂O₃ 触媒の脱水素活性

一般に、Al₂O₃ は担持する金属と強く相互作用するため、金属を高分散状態で担持しやすいことが知られている。したがって、Al₂O₃ 担体を用いることで SiO₂ 担体の場合より高性能な Rh₂P 触媒の開発が可能になると推測される。一方で、リン化合物触媒の前駆体として使用したリン酸塩は Al₂O₃ と反応し、難還元性の AlPO₄ が生成してしまう^{3,7)}。この場合、高温で還元処理を行わなければならない、担持した金属種が凝集するため、低活性な触媒となる可能性が非常に高くなる。これに対し、我々はトリフェニルホスフィン(TPP)を用いた Rh₂P/Al₂O₃ 触媒の新規合成法に成功している⁷⁾。そこで、TPP を用いて P/Rh/Al₂O₃ 触媒を調製し、その脱水素活性を評価した。図 3 に SiO₂ および Al₂O₃ を担体とした Rh および Rh-P 触媒による MCH 脱水素反応の結果を示す。脱水素活性の序列は P/Rh/Al₂O₃ > Rh-P/SiO₂ > Rh/Al₂O₃ > Rh/SiO₂ となった。これより、Al₂O₃ 担体でも P 添加により脱水素活性が向上し、この活性は SiO₂ 担体の場合よりも高いことを明らかにした。すなわち、これらの結果は高分散な Rh₂P 粒子が Al₂O₃ 担体上に生成したことに由来すると言える。しかしながら、P/Rh/Al₂O₃ 触媒でも経時変化に対する活性の大幅な低下が見られた。したがって、今後は活性低下を防ぐ方法について検討する予定である。

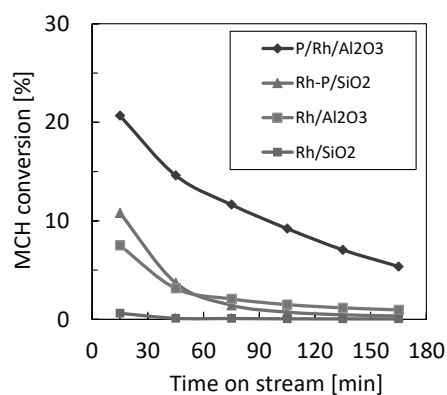


図 3 種々の Rh 系触媒の MCH 脱水素活性
還元温度 P/Rh/Al₂O₃ : 450°C, Rh-P/SiO₂ : 550 °C,
Rh/Al₂O₃: 350°C, Rh/SiO₂ : 350°C

4 おわりに

本研究では、貴金属とリンを担持した触媒を調製し、その脱水素活性について検討した。SiO₂ を担体にした場合、Rh 触媒の活性はリン添加により大幅に向上することを明らかにした。その活性の還元温度に対する挙動から、Rh₂P の生成が活性に影響を与えていると考えられた。また、Al₂O₃ 担体と TPP を用いることで調製できる高分散な担持 Rh₂P 触媒は高い脱水素能を示すことがわかった。今後は反応中の失活を防止する方法について検討する予定である。

文献

- 1) 岡田佳巳, 今川健一, 河合裕教, ペトロテック 38(2015) 660-664.
- 2) Y. Kanda, C. Temma, K. Nakata, M. Sugioka, Y. Uemichi, *Appl. Catal. A: Gen.*, 386 (2010) 171-178.
- 3) Y. Kanda, C. Temma, K. Nakata, M. Sugioka, Y. Uemichi, *J. Jpn. Petrol. Inst.*, 55 (2012), 108-119.
- 4) Y. Kanda, T. Araki, M. Sugioka, Y. Uemichi, *J. Jpn. Petrol. Inst.*, 56 (2013), 94-101.
- 5) Y. Kanda, C. Temma, A. Sawada, M. Sugioka, Y. Uemichi, *Appl. Catal. A: Gen.*, 475 (2014) 410-419.
- 6) Y. Kanda, Y. Uemichi, *J. Jpn. Petrol. Inst.*, 58 (2015) 20-32.
- 7) Y. Kanda, Y. Matsukura, A. Sawada, M. Sugioka, Y. Uemichi, *Appl. Catal. A: Gen.*, 515 (2016) 25-31.

新しい作用機序を有する有機ゲルマニウム 抗インフルエンザ薬候補物質の創製研究

中野博人^{*1}, 佐藤 克行², 関 千草²

1 はじめに

有機ゲルマニウム A「3-(トリヒドロキシゲルミル)プロピオン酸：アサイゲルマニウム (Ge-132)」は免疫賦活作用を有し、安全性の確認されている水溶性のゲルマニウム化合物であり、健康食品・化粧品の原料として (株) 浅井ゲルマニウム研究所で製造販売されている。最近、共同研究者らは Ge-132 が生体内のシス-ジオール部位を有する分子を標的として相互作用し、ラクトン型錯体を形成することを明らかにした (図 1)。^{1,2)} 本研究では上記の作用機序に立脚し、ウイルス株を選ばない万能型抗インフルエンザ薬としての Ge-132 誘導体 B の創製を目指す。すべてのインフルエンザウイルスがその表面に糖鎖をもっており、その構成糖類のシス-ジオール部位に合成した Ge-132 誘導体を結合させることによりウイルス活性が失活させる。特に、Ge-132 誘導体に環状部位を構築することにより、より糖類のシス-ジオール部位と容易に結合 (脱水縮合) しラクトン型錯体 C を形成することが期待される。

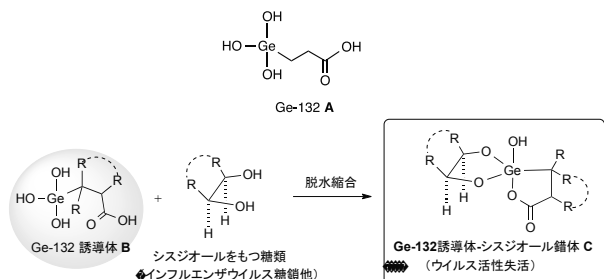


図1: The formation of Ge-132 derivative - cis-diol complex

2 結果と考察

本申請研究を進めるには、様々な Ge-132 誘導体を効率よく合成するための手法の開発が必要不可欠である。

最初に、本学申請者および共同研究者はトリクロロゲルマン 1 とアクリル酸誘導体 2, 4-11 とのヒドロゲルミネーション反応による 3-(トリクロロゲルミル)プロパン酸誘導体 (Ge-132 誘導体前駆体) 3a-i の合成を検討した (図 2)。反応は、クロロゲルマン 1 とそれぞれ対応する鎖状または環状構造を有するアクリル酸誘導体 2-11 とを用いて行われた。その結果、目的の付加体 3a-i を良好な収率で合成することに成功した。

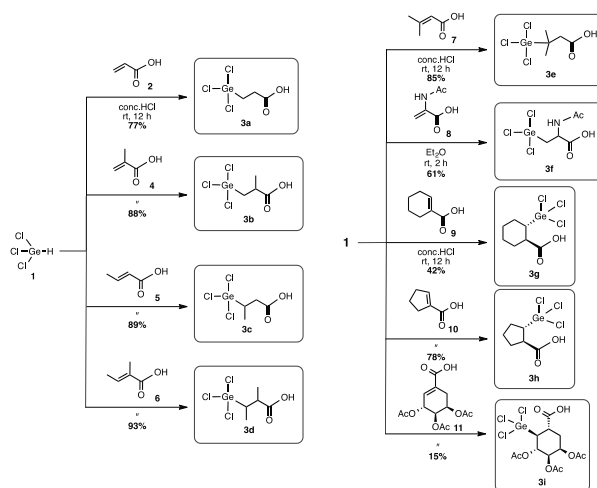


図2: Hydrogermylation of 1 with 2, 4-11

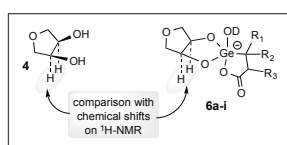
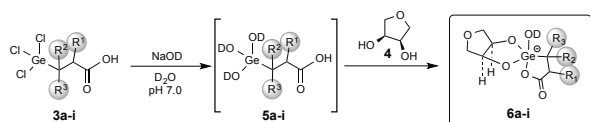
次に、得られた Ge-132 誘導体 3a-i のシス-ジオール部位をもつ化合物との錯体形成能の評価を行った (表 1)。合成した付加体 3a-i と重水酸化ナトリウム

*1: くらし環境系ユニット

*2: (株) 浅井ゲルマニウム研究所

との置換反応を、重水中 pH7 付近条件下で行い、付加体 **3a-i** のクロロ基が重水酸基で置換された Ge-132 誘導体 **5a-i** を合成した。得られた **5a-i** は単離精製することなく、糖類と同様のシス-ジオール部位含有分子である化合物 **4** と反応させ、それぞれ対応するシス-ジオール錯体 **6a-i** に変換後、それらの ¹H-NMR 解析により、錯体形成能を評価した。その結果、Ge-132 **5a** に比べて、Ge-132 誘導体 **5g** および **5h** を用いたとき、どちらにおいても錯体形成能の向上が見られた (entries 7,8)。特に 6 員環構造を有する **5g** を用いた場合、錯体形成能は 83% と最も大きく向上した (entry 7)。これらの結果から、合成した環状構造を有する Ge-132 誘導体が優れた抗インフルエンザ活性を有することが期待される。

表 1: Formations of Ge-132 derivative-cis-diol complexes



entry	deriv. 5	R ¹	R ²	R ³	product 6	forming ability (%) ^a
1	a	H	H	H	a	58
2	b	CH ₃	H	H	b	67
3	c	H	CH ₃	H	c	60
4	d	CH ₃	CH ₃	H	d	70
5	e	H	CH ₃	CH ₃	e	78
6	f	NHAc	H	H	f	60
7	g	[Cyclohexane ring]		H	g	83
8	h	[Cyclopentane ring]		H	h	78
9	i	[Cyclohexane ring with OAc groups]		H	i	44

^aDetermined by ¹H-NMR

合成した Ge-132 誘導体をインフルエンザウイルスと反応させ、その抗ウイルス活性スクリーニングを実施する。ウイルス活性評価は以下の方法 (A および B) により実施する。

A. ウイルス不活化確認: 合成された化合物の 50% 組織培養感染量 (TCID₅₀) を Behrens- Karberb 法によって算出、ウイルス力価により抗ウイルス性を評価する。

B. ウイルス増殖抑制確認: インフルエンザウイルス株を接種した MDCK 細胞培養液に被験物質 (各化合物) を添加し、ウイルス力価 (TCID₅₀) によりウイルス増殖抑制効果を評価する。評価で良好な抗ウイルス性を有す化合物は、MDCK 細胞を用いて細胞傷害性を LDH assay により確認する。

現在、上記試験法により抗ウイルス活性試験を検討中である。

抗ウイルス活性試験と並行して同様の錯体形成メカニズムでの Ge-132 誘導体と糖鎖のシス-ジオール部位との反応によって活性の発現が期待される痛みの抑制作用についても検討した。すなわち、Ge-132 誘導体が痛みのシグナルとして体内で働く ATP の adenosine 構造部位のシス-ジオールとラクトン型錯体を形成することにより 痛みを抑制することが期待される。

痛み抑制機能の評価は、以下の評価法を用いて行った。

ADA 酵素反応阻害作用評価: adenosine を ADA 酵素 (アデノシンデアミナーゼ酵素) によって inosine に変換する ADA 酵素反応における Ge-132 誘導体の反応阻害作用を評価する。

評価に用いる Ge-132 誘導体として、鎖状型のモデル化合物である **3a** (**5a**)、さらに錯体形成試験において良好な錯体形成能を示した 6 員環の環状構造を有する **3g** (**5g**) および 5 員環の環状構造を有する **3h** (**5h**) を選択し、それら化合物の評価を行った (表 1)。その結果、6 員環構造を有する **3g** (**5g**) および 5 員環構造を有する **3h** (**5h**) において、モデル化合物である鎖状構造を有する **3a** (**5a**) よりも優れた ADA 酵素反応阻害作用が確認された。

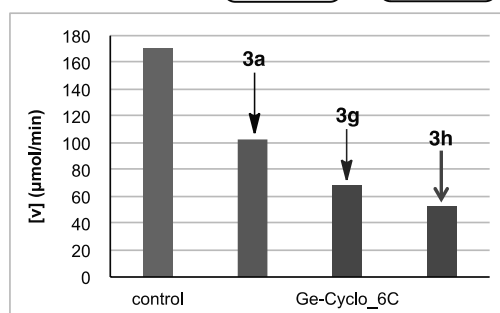
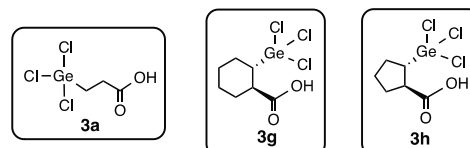


図3. The inhibitory activity of Ge-132 derivatives to ADA enzyme reaction

3 おわりに

新しい作用機序を有する有機ゲルマニウム抗インフルエンザ薬候補物質の創製を目的として、これまで報告例のない環状構造を有する Ge-132 誘導体の創製を行い、それらの抗ウイルス活性試験および痛み抑制作用の指標となる抗 ADA 酵素反応阻害作用試験を行った。その結果、抗ウイルス活性試験は現在実施

中ではあるが、抗 ADA 酵素反応阻害作用試験において、Ge-132 誘導体である 6 員環構造を有する **3g (5g)** および 5 員環構造を有する **3h (5h)** が従来の鎖状構造を有する Ge-132 **3a (5a)** に比較し、ATP の adenosine 構造部位のシス-ジオールと優れた相互作用を示すことが明らかとなった。

新規 Ge-132 誘導体の合成法の開発およびその抗 ADA 酵素反応阻害作用試験の研究結果は、特許出願された。³⁾

文献

- (1) T. Nakamura, Y. Shimada, T. Takeda, K. Sato, M. Akiba, H. Fukaya. *Future Med Chem.* **2015**, 7(10), 1233-1246.
- (2) Y. Shimada, K. Sato, Y. Tokuji, T. Nakamura. *Carbohydr. Res.* **2015**, 407, 10-15 (2015).
- (3) 発明名称: 新規有機ゲルマニウム化合物及びこれを含む鎮痛剤, 出願番号: 2017-242584, 出願日: 2017 年 12 月 19 日

多種類 MoCap データの身体動作データベースの試作

柴田 傑^{*1}, 海賀 孝明^{*2}

1 はじめに

近年、バーチャルリアリティ技術（VR 技術）の急速な発展にともなう、市販のゲーム機や携帯端末で VR コンテンツが提供されるなど、一般家庭への普及も進んでいる。VR コンテンツを支える重要な技術の一つに、モーションキャプチャ（MoCap）がある。MoCap は三次元空間中の身体動作を計測する装置であり、様々な原理の MoCap が開発されている。MoCap を用いることによって実世界の人の動きをデジタルデータ（MoCap データ）として記録できる。MoCap データは CG キャラクタをリアルにアニメーションさせるための素材として利用できるだけでなく、コンピュータへの入力操作[1]、人の動きの特徴解析[2, 3]、動作の学習支援への利用[4, 5]、民俗芸能を記録保存・伝承支援[6]など、様々な応用が研究されている。

MoCap データをより効果的に活用するためには、多種類の MoCap データを含むデータベースが不可欠と考える。多くの MoCap データが収録されたデータベースが公開できれば、データを組み合わせることで様々なコンテンツが作成できるだけでなく、統計的な比較や機械学習による分類のようなビッグデータの解析手法を活用した身体動作の解析が期待できる。MoCap データは、カーネギーメロン大学[7]、キプロス大学[8]などで公開されているものの、それぞれの機関が保有する特定の MoCap で計測したデータを公開しているに過ぎない。

そこで本研究では、多種類 MoCap のデータを保存する身体動作データベースのプロトタイプを作成し、多

*1: 室蘭工業大学 しくみ情報系領域

*2: わらび座, 2017 年 5 月 死去

種類 MoCap のデータを収録する際の課題点を明らかにする。

2 身体動作のデータ

現在、計測手法の異なる多様な MoCap が開発されている。MoCap の計測手法の違いによって計測可能なデータや計測時に含まれるノイズの種類は異なっている。本章では、代表的な MoCap の計測手法および試作する身体動作データベースに収録するデータの種類について述べる。

2.2 MoCap の計測手法

MoCap の代表的な計測手法として、磁気式、光学式、慣性式、機械式の四種類および、コンピュータへのデータ入力を想定した簡易式がある[9]。各手法の利点および欠点を表 1 に示す。

磁気式 MoCap は、磁気を発生するトランスミッタとコイルを含むレシーバで構成される。コイルに発生する誘導起電力を用いて、トランスミッタを原点とするレシーバの位置（3 自由度）および姿勢（3 自由度）を計測する。磁気式 MoCap は隠れの影響が少なく、衣装や道具の中に設置したレシーバによる計測が可能である。また、位置と回転を同時に計測できるので、少ないレシーバで高精度に計測できる点が利点である。しかしながら、付近の金属によって磁界がゆがみノイズとなる上、計測範囲が狭いなどの課題がある。

光学式 MoCap は、カメラを用いて身体動作を計測する MoCap である。光学式 MoCap では、反射性の高い素材や LED ライトなどカメラで観測しやすいマーカと呼ばれる印を、複数台のカメラで撮影し、画像処理を用いて各マーカの位置を計測する。光学式

MoCap は高い周波数で計測でき、位置に関する精度も高い。しかしながら、カメラからマーカが隠れる、マーカを誤

表 1 MoCap の計測手法の

計測手法	磁気式	光学式	慣性式
MoCap センサ	レシーバ	マーカ	IMU
計測対象	位置/姿勢	位置	加速度/角速度
センサ毎の自由度	6自由度	3自由度	6自由度
サンプリングレート	30 Hz~ 240 Hz程度	30 Hz~ 1 kHz程度	30 Hz~ 240 Hz程度
センサの隠れ	○	×	○
金属の影響	×	○	×
センサのサイズ	△	○	○

認識する、部位の回転を推定するために複数のマーカを装着する必要があるなどの欠点がある。

光学式 MoCap の一種としてビデオ式あるいは画像式と呼ばれる手法がある。ビデオ映像や赤外光などを用い、撮影した被写体までの距離画像を解析することによって、マーカを用いずに身体の動きを計測する。ビデオ式はマーカの装着が必要なく手軽に利用できるものの精度は高くない。

慣性式 MoCap は、加速度センサおよび角速度センサ (IMU) で計測した位置および姿勢の時間変化を用いて身体動作を計測する。IMU は比較的小型で安価なため、携帯端末などにも組み込まれている。磁気トランスミッタやカメラのように計測対象の外部に基準を置かないので、広範囲の計測が可能である。しかしながら、加速度から位置を推定しているため、位置の誤差が累積するなどの欠点がある。

その他の手法として、ワイヤーやリンク機構を用いる機械式や光ファイバ式などがある。これらの手法は、ロータリーエンコーダやファイバの曲率によって、各関節の角度を計測する。動作の計測だけでなく力覚提示などの機能との連携も容易な装置である。しかしながら、装置が大型化するなどの欠点がある。

MoCap には全身の動作を高精度に計測可能な装置だけでなく、精度や計測可能な部位を限定することによって、専門的な知識を用いずに計測や入力装置として利用可能な MoCap (簡易 MoCap) も開発されている。安価なセンサで実現できるビデオ式および慣性式の簡易 MoCap に加えて、表面筋電位や筋収縮といった生体情報を活用するデバイスも開発されている。簡易 MoCap は計測の精度が低く、身体動作の計測ではなく、ジェスチャーによるコンピュータ操作などに活用されている。

本研究で試作する MoCap データベースでは、Ascension Technology 社の磁気式 MoCap である Motion Star Wireless で計測した MoCap データを中心に、Motion Analysis 社の光学式 MoCap である MAC 3D

System, NOITOM 社の慣性式 MoCap である Perception Neuron で計測したデータを収録する。また、Microsoft 社の Kinect, Leap Motion 社の Leap Motion などの簡易 MoCap で計測したデータも合わせて収録する。

2.3 身体動作の計測手順

本研究では、磁気式 MoCap のレシーバ、光学式 MoCap のマーカ、慣性式 MoCap の IMU のような、動作の計測時に身体に装着する計測用の素子を MoCap センサと呼び、MoCap センサによって計測されるデータをセンサデータと呼ぶ。センサデータには、計測装置に由来するノイズが含まれている。センサデータは、身体の表面に装着した MoCap センサで計測したデータであるので、演者の関節の回転中心の位置や姿勢のデータではない。

CG キャラクタを用いた身体動作の可視化、機械学習を用いた身体動作解析のためには、センサデータのノイズを除去し、骨格の動きを推定する必要がある。本研究では、骨格の動きを推定したデータを骨格動作データと呼ぶ。骨格動作データは、人体の骨格構造に応じて記述されるので、骨格構造を統一することによって、MoCap の計測手法が異なっても同一の形式で身体動作を記述することができる。

MoCap による身体動作の計測では、装置のキャリブレーション、演者のキャリブレーション、計測、ノイズ除去、骨格動作データの取得の手順で進められる [10]。ただし、各手順の具体的な処理は、用いる MoCap によって異なっている。また、一連の処理は、MoCap を制御するソフトウェアに実装されている場合が多い。さらに、キャリブレーションやノイズ除去では、オペレータの経験による処理が含まれることもあり、同種の MoCap であっても推定された骨格動作データの精度は大きく異なっている。

MoCap データを応用するためには、骨格動作データが重要であるものの、その精度はデータによって様々である。そこで、本研究で試作する MoCap データベースでは、必要に応じて骨格動作データを評価できるように、センサデータと骨格動作データの双方を収録する。

2.3 MoCap のデータフォーマット

MoCap データは計測手法およびデータ処理の段階に応じて記録すべきデータの種類が異なるので、それぞれに応じたデータフォーマットが提案されている。本研究では、MoCap のデータフォーマットを骨格構

造の情報を含まないセンサデータフォーマット、骨格情報を含む骨格動作フォーマット、CGモデルやカメラワークなどシーンの情報を含むコンテンツフォーマット、その他 MoCap データ編集アプリケーション用のバイナリデータの四つの種類に分類する。表 2 に代表的なフォーマットを示す。

センサデータフォーマットは、MoCap センサの相対的な関係を含まない形式であり、装置のキャリブレーション時に設定される計測の原点に対する MoCap センサの位置や姿勢の時系列データを保存する。本研究で試作する MoCap データベースでは、センサデータの形式として Biovision Action (BVA) 形式、Track Row Column (TRC) 形式および計測ソフト専用のバイナリ形式を用いる。

BVA 形式は 1 つの MoCap センサについて、ラベル、サンプリングレート、フレーム数、各データの単位からなるヘッダが記述される。ヘッダの次の行からある時刻の位置 (3 自由度)、姿勢 (3 自由度)、スケール (3 自由度) のデータを一行で表現する形式である。MoCap センサが複数ある場合には、一つ目の MoCap センサのデータの最後のフレームの行の後に、二つ目の MoCap センサのヘッダとデータが記述される。BVA 形式は磁気式 MoCap のセンサデータに対応した項目を持つファイル形式であり、本研究では、磁気式 MoCap のセンサデータの形式として用いる。

TRC 形式は、光学式 MoCap のマーカの位置を計測するためのフォーマットである。ファイルのパス、データおよび計測用カメラのサンプリングレート、フレーム数、マーカ数、単位からなるヘッダが記述される。ヘッダの次の行から、ある時刻の全てのマーカの位置座標が一行 (3 自由度×センサ数) に記述される。

表 2 MoCap データのフォーマット

	代表的な形式	記述内容
センサデータ フォーマット	BVA	各 MoCap センサの位置(3自由度)、姿勢(3自由度)、スケール(3自由度)を記述。
	TRC	すべての MoCap センサの位置(3自由度×センサ数)を記述。
骨格動作 フォーマット	BVH	入れ子構造による骨格構造。各関節のオイラー角の時系列で動作を記述する形式。多くの CG 編集ソフトがサポート。
	HTR	BVH の記述の自由度を高めた汎用な形式。
	PMX	MMD 形式のアニメーション記述用の書式。
コンテンツ フォーマット	FBX	CGモデル、シーン、カメラワークなどを含む汎用性の高い形式。多くの CG 編集ソフトがサポート。
	VRML/ X3D	XML タグによる CG アニメーション記述形式。
	BLEND	CG ソフトウェア Blender 用ファイル形式。
その他		計測装置の制御プログラム毎に様々な形式が実装されている。

骨格動作フォーマットは、センサデータフォーマットと異なり、身体の骨格構造を記述する形式である。

バイナリ形式は各ソフトウェアが提供する専用の形式であり、SDK を介してアクセスするデータ形式である。エディタを使って手で編集することは難しいものの、プログラムでは効率的に処理することができる。

骨格動作フォーマットは、骨格構造を含む形式であり、骨格構造をリンクとみなしたときの、関節の接続の状態、関節間の距離などの構造と、各関節角度の時系列を記述する。本研究では、比較的多くの CG ソフトウェアが対応する形式として、MoCap の種類にかかわらず Biovision Hierarchy (BVH) 形式に統一して収録する。

BVH は、骨格構造を記述する HIERARCHY 部と骨格の各関節の動きを記述する MOTION 部で構成される。HIERARCHY 部では、人体の骨格を階層構造を持つリンクとみなし、関節の接続関係を入れ子構造で表現する。また、基準となる姿勢 (基準姿勢) の親関節に対する子関節の位置を OFFSET とし記述する。基準姿勢は、全ての関節角度が 0 となる姿勢であり、骨格構造の基準となる姿勢である。MOTION 部では、HIERARCHY 部で定義された関節の順に、各関節の角度がオイラー角で記述される。

コンテンツフォーマットは、骨格動作データに加えて、CGモデル、レンダリング用の仮想カメラの設定、シーンの設定などを記述できる形式である。CGアニメーションに必要な情報をすべて記述できるので、CGコンテンツ作成における素材の共有などで利用されることも多い。MoCap データを保存する場合には、フォーマットのうち、骨格構造およびアニメーションを記述する機能を用いる。MoCap 計測用のソフトウェアで、FBX 形式などコンテンツフォーマットに対応しているものもあるものの、フォーマットの書式が複雑になることから、試作する MoCap データベースには収録しないものとした。

2.4 メタデータ

データベースを構築する場合には、収録したデータだけでなく、データの種類や計測日時といったデータの属性についての情報 (メタデータ) が重要である。メタデータは、大量のデータから効率的に必要なデータを抽出できるだけでなく、データの解析や編集において重要な役割を果たすと考えられる。本研究では、計測手法の異なる MoCap で計測された身体動作データを収録することを想定している。そのため、計測時

の環境や MoCap の種類もメタデータとして掲載する必要があると考える。

本研究では、各 MoCap データの属性を特定するためのメタデータ（基本情報メタデータ）、計測に用いた MoCap の種類や環境に関するメタデータ（計測環境メタデータ）、演者に関するメタデータ（アクターメタデータ）、データのフォーマットに関するメタデータ（ファイルメタデータ）からなる四種類のメタデータを収録するものとした。

3 身体動作データベースの試作

3.1 データベースの概要

本研究では、2章で述べた MoCap のうち、磁気式 MoCap を中心に多種類のデータを収録したデータベースを試作し、多種類 MoCap データのデータベース構築における課題点を明らかにする。

図1に試作したデータベースの構成を示す。本データベースは、MoCap データ公開のための課題を明確にするための試作であり、管理者が容易に編集できる環境が必要である。そこで、同図(a)に示すように、クラウド上のストレージサービスである Google Drive を利用し、ユーザーインターフェスは Web ページ提供サービスである Google Site を利用した。管理者がデータや編集状況を共同し、効果的に開発を進めた。

図2に試作したデータベースにタブレット端末でアクセスした様子を示す。本データベースの UI は Web ページとして提供しているため、タブレット端末のブラウザで閲覧およびデータのダウンロードができる。また、図3にストレージに保存された BVH ファイルをタブレット端末のビューアで閲覧した様子を示す。

BVH は CG モデルのデータを含まないが、同図に示すように各関節を線で結んだ骨格モデルのアニメー

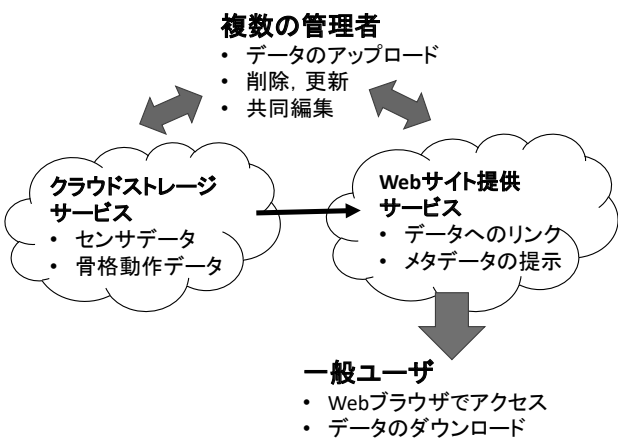


図1 データベースの構成



図2 データベースへのアクセスの様子
シジョンとして再生することができた。

3.2 収録した MoCap データ

本プロトタイプでは、磁気式 MoCap で計測したデータを 33 個、光学で計測したデータ 2 個、慣性式 MoCap で計測したデータ 21 個を収録した。このほか、簡易 MoCap で計測したデータを 3 個、合計 59 個のデータについてそれぞれセンサーデータと骨格動作データを収録した。

磁気式 MoCap は、センサーデータとして BVA 形式のデータを収録し、骨格動作データへの変換には独自に開発したシステムを用いて関節位置を推定し、手動で誤差を取り除いた。

光学式 MoCap はセンサーデータとして TRC 形式のデータを収録し、骨格動作データへの変換には、計測用ソフトウェアである CORETEX を用いた。また、骨格動作データとして、BVH の他に、CORETEX が標準でサポートする HTR 形式も収録した。

慣性式 MoCap はセンサーデータとしてバイナリの形式である RAW 形式のデータを収録した。RAW 形式のデータは、計測用ソフトウェアである Axis Neuron のフォーマットである。骨格動作データへの変換には、計測用のソフトウェアである Axis Neuron を用いた。

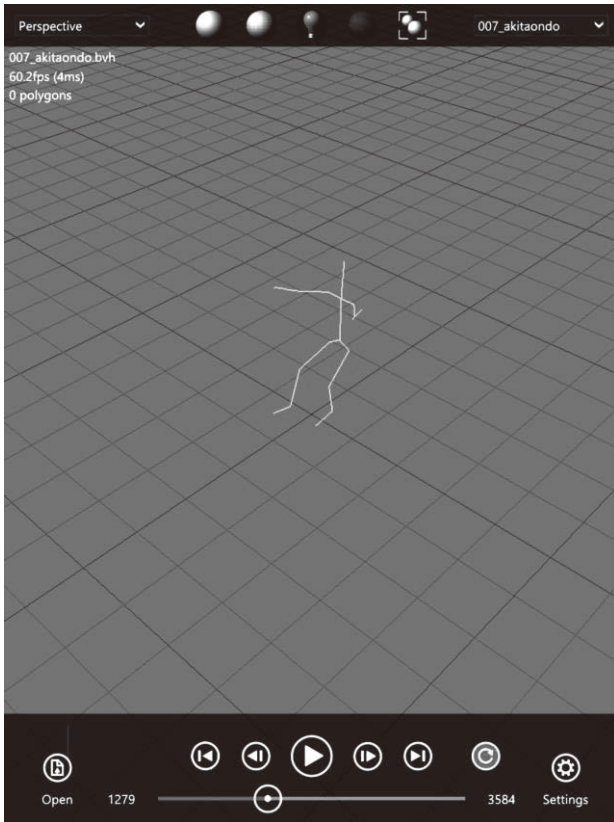


図3 タブレット端末による BVH 形式の閲覧

3.3 収録したメタデータ

表3に収録したメタデータの一覧を示す。試作したデータベースでは、基本情報メタデータとして、MoCap データの特定および検索への活用を想定した、ID、ファイル名（データの URL へのリンク）、動作種別、動作名称、収録日の4項目、データの解析や分類に用いる計測環境メタデータの ID、アクターメタデータの ID、データの分析や分類への活用を想定したファイルメタデータの ID、総フレーム数、フレームレート、プロジェクト名、備考の7項目、合計11

表3 メタデータの一覧

基本情報 メタデータ	ID	環境情報 メタデータ	ID	
	ファイル名		収録場所	
	動作種別		方式	
	動作名称		装置名	
	収録日	メーカー名	アクター情報 メタデータ	ID
	計測環境のID	センサー数		性別
	アクターのID.	取り付け位置		年齢
	ファイル内容のID.	ファイル情報 メタデータ	ID	身長
	総フレーム数			ファイル形式
	フレームレート			座標系
プロジェクト名			回転順	
備考			備考	

項目を記述する。

環境情報メタデータとして、収録場所、方式、装置名、メーカー名、MoCap センサ数、取り付け位置を記述する。アクター情報メタデータとして、性別、年齢、身長情報を記述する。ファイル情報メタデータとして、ファイル形式、座標系、回転順、備考を記述する。

試作したデータベースでは、各種類のメタデータをそれぞれ異なるシートで管理することとした。データに関する情報は基本情報メタデータのページに統一した。図2に示したスクリーンショットは、基本情報メタデータのページである。他のメタデータのページには、同図下部にあるタブから移動することができる。

計測環境やファイル形式など、複数のファイルで共通している場合には、IDのみを指定すればよいこととした。

なお、十分な精度が保証できない簡易 MoCap に関するデータは、基本情報メタデータのみ専用のページを設けるものとした。

4 MoCap データベースの課題

試作したデータベースを筆者らの研究グループで共有し、多種類 MoCap のデータを収録する際の課題点について検討した。

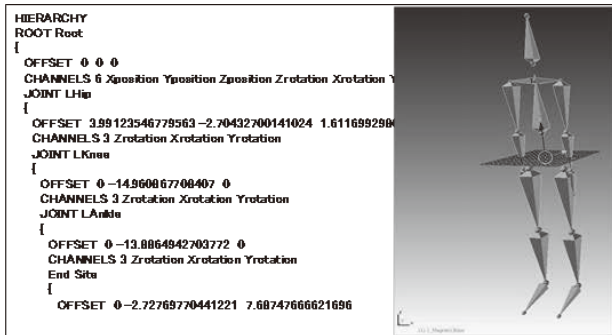
4.1 データ形式の共通化に関する課題

試作したデータベースでは、センサデータの書式は統一されていないことを前提とし、骨格動作データの形式として BVH を採用し、書式の統一をはかった。しかしながら、MoCap の計測用ソフトウェアが出力する BVH ファイルは、必ずしも骨格構造が一致しているとは限らない。また、各関節の姿勢はオイラー角で表現されているものの、その回転順は統一されていない。

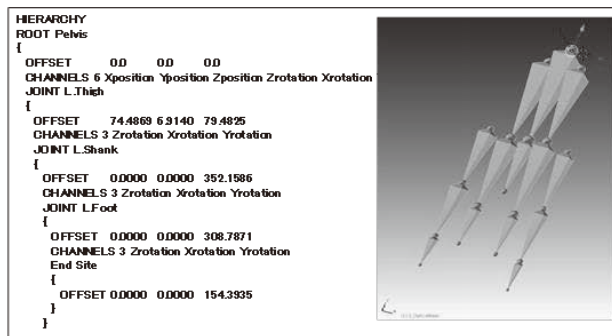
図4に収録した BVH の一部とその基準姿勢を示す。同図 (a) に示すように、独自に開発した手法で BVH を生成した磁気式 MoCap の BVH は基準姿勢が直立の姿勢であるのに対し、同図 (b) (c) に示す MoCap 計測用ソフトウェアで出力した BVH は基準姿勢が各軸に沿う形式をとり、人の形を成していない。また、同図の BVH の記述から、各関節の名称も統一されておらず、関節の数も異なっている。

VR コンテンツの開発環境である Unity や CG アニメーションの編集用ソフトウェア Blender では、既知の骨格構造を互いに変換する機能が提供されている。

また、BVH の読み込みの際に回転順を指定する機能も実装されている。これらの機能を活用し、データの



(a) 磁気式MoCapから生成したBVHと基準姿勢



(b) 光学式MoCapから生成したBVHと基準姿勢



(c) 慣性式MoCapから生成したBVHと基準姿勢

図4 収録したBVHの一部と基準姿勢

アップロード時に、データ形式を共通化する手法の開発が必要と考えられる。

ダウンロードされた MoCap データを利用する場合、応用例によって適したデータの形式も異なっていると考えられる。そのため、代表的なデータ形式について相互に変換可能な機能の実装が必要と考えられる。

4.2 メタデータの種類に関する課題

本実験では、表3に示した4種類30個のメタデータを付与することとしたものの、計測時の目的に関連しないメタデータについては記録がなく、記載できない項目も多数存在した。

MoCap データの利用に必要なメタデータの種類に

ついては、今後も継続的な検討が必要と考える。また、4.1節で述べたデータの共通化および相互変換においては、センサデータから骨格動作データへ変換する過程に関するメタデータが必要になると考えられる。そのため、多様な活用方法に対応可能なメタデータの記述手法の検討が必要である。

4.3 簡易 MoCap の活用に関する課題

試作したデータベースでは、簡易 MoCap として手先と道具のみに磁気センサを装着した場合のデータおよび Kinect による盆踊りのデータを収録している。これらのデータは、他の全身用 MoCap のデータと異なり骨格動作データに変換することは難しいデータである。

ディープラーニングのように、精度が一定しないノイズの含む大量データから特徴を抽出する手法も開発されている。また、画像のデータベースでは、SNS に投稿されたユーザが自由に設定したタグと様々な解像度の画像からなる大規模データベースが一定の成果を上げている。これらのことから、精度が高くない簡易 MoCap にも対応し、データ量を増やす試みも必要と考えられる。

5 おわりに

MoCap データの効果的な応用のために、多種類の MoCap のデータを収録した大規模なデータベースが必要であると考えられる。そこで本研究では、多種類の MoCap データを収録するベースを試作し、課題点を明らかにした。

本研究では、クラウドサービスを活用してデータベースを試作した。試作したデータベースは59の動きについてセンサデータと骨格動作データを収録した。また、データに関連する情報として、30個のメタデータを付与した。

タブレット端末のブラウザを用いて試作したデータベースにアクセスし、ビューアを用いてダウンロードした BVH 形式の骨格動作データを閲覧できることを示した。

本データベースの試作を通し、データ形式の共通化、メタデータの種類、簡易 MoCap の活用に課題があることが明らかとなった。今後の課題として、データ数を増やすとともに、データ変換アルゴリズムの Web 上での実装など、本研究で明らかになった課題の解決方法の検討があげられる。

文献

- (1) 御手洗彰, 棟方渚, 小野哲雄: 物を把持した状態における筋電センサを用いたハンドジェスチャ入力の問題抽出と新手法の提案, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.22, No.1, pp.41-50, 2017.
- (2) Bütepage Judith, Black Michael, Kragic Danica, Kjellström Hedvig: Deep representation learning for human motion prediction and classification, arXiv preprint arXiv:1702.07486, 2017.
- (3) 開米拓実, 柴田傑: 複数センサを用いた三味線演奏の特徴抽出手法の検討, 第22回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 1F303頁, 2017.
- (4) 佐野高也, 依田淳也, 中村壮亮, 橋本秀紀: VR技術を用いた身体位置感覚の較正によるパッチングトレーニングシステムに関する研究, 日本機械学会論文集, Vol.83, No.848, pp.1-12, 2017.
- (5) Shibata, T., et al.: Development of an Uchi Self-learning System for Mutsumi-ryu-style Shamisen Using VR Environment, International Conference on Intelligent Robotics and Applications 2016, pp.359-370, 2016.
- (6) Takeshi, M., et al.: Quantitative Analysis of Folk Customs and Mtoin Characteristics of Bon Odori Dance in Akita Prefecture, IPSJ Symposium Series, Vol.2016, No.2, pp.171-176, 2016.
- (7) Carnegie Mellon University Graphics Lab, CMU Graphics Lab Motion Capture Database, <http://mocap.cs.cmu.edu/>
- (8) Dance Motion Capture Database, University Of Cyprus Graphics and Virtual Reality Lab, <http://dancedb.eu/>
- (9) 水戸部 一孝: モーションキャプチャ技術の種類と活用事例, 秋田大学 総合情報処理センター広報, Vol.9, pp.14-19, 2008.
- (10) Midori Kitagawa, Brain Windsor: MoCap for Artists Workflow and Techniques for Motion Capture, CRC Press, 2012.

多合金鋳鋼の切削加工技術の研究開発

清水 一道*1, 楠本 賢太*2, 原 宏哉*3, 伊藤 淳*3

1 はじめに

種々の合金元素を添加した球状バナジウム炭化物含有高マンガン鋳鉄（以下 SCI-VMn）は優れた耐摩耗材料として、スクリーやプロペラ等のポンプ関連の部品として使用されており、今後広範な応用が期待されている。しかしながら、SCI-VMn はオーステナイト系基地組織を有し、切削加工の際に生じる加工硬化で加工が困難となる難削材である。通常、高マンガン鋼は被削性で大別すると大きく三つに分けることが出来る。低 C・高 Mn 系（C≒0.4～0.1%, Mn≒20～28%）、中 C・中 Mn 系（C≒0.75～0.4%, Mn≒15.5～20%）、高 C・低 Mn 系（C≒1.4～0.8%, Mn≒10～15%）である。高マンガン鋼において、C が高くなり、Mn が低くなることで更に被削性は悪化する。今回、実験に使用する供試材は、C≒2.0～3.5%, Mn≒12.0～13.0% であることから、被削性が悪いことが伺える。この供試材は被削性が悪いが故に、加工性が明確にされていないことが影響し、加工範囲が限定されているのが現状である。

そこで本研究の目的として、SCI-VMn の加工性を明確にするために、切削する条件（工具材種・加工速度・切込量・被削材と工具の角度等）を変えて切削加工実験を行うことで、切削条件に起因する加工硬化の影響を調査した。

2 切削条件

切削工具は先端半径 3mm の 2 枚刃ボールエンドミル（L/D=3 工具突き出し長さ L=18mm）として、高硬度材料の加工に適した超硬材質に表面コーティングを施したものと CBN 工具を使用した。使用した各工具を表 1 に示す。被削材を表 2 に示す C 量を調整した 4 種類の高マンガン鋳鉄とした。各被削材の組織写真を図 1 に示す。加工方法として 50mm×50mm×15mm の被削材を切削動力計（キスラー社製 3 成分動力計 9257B）の上に取り付けられたチャックに取付け、ボールエンドミルで平面加工を行い、切削抵抗の大きさと工具の損傷状態で切削条件を評価した。切削条件として、荒加工では切込み深さ 0.5mm、送り 0.04mm 以上/刃、ピックフィード 1.0mm とし、仕上げ加工では、切込み深さ 0.2mm、送り 0.02mm 以下/刃、ピックフィード 0.5mm である。また、切削速度は被削材と接触する最大周速で表した。

予備試験において、背分力は切削の進行に対して主分力、送り分力よりもその増加が顕著であり、ある値以上で切削中の音や振動が大きくなることが明らかとなった。また、今回の切削試験においては工具の摩耗や損傷の形態が多種であるため、背分力の基準値を 500N とし、500N 以上となった際に工具寿命に達したと仮定した。

表 1 使用した工具

略記号	メーカー	型式	名称	材種	コーティング
GS	不二越	GSBH20300SF	GS MILLA-ドボール	超硬	Al-Ti-C 系積層コーティング
MVF	三菱マテリアル	VF2SBR0300S06	インバリアミラルコーティング	超硬	単一相ナノ結晶コーティング 硬さ HV3,700 酸化開始温度 1,300°C
TH	日立	EPBTS2060-TH	エポックTHA-ドボールストログ	超硬	Si 系ナノコンポジットコーティング 硬さ HV3,800 酸化開始温度 1,200°C
SB	住友電工	BNBS2060S	スズ/CBN350	CBN	

*1：もの創造系領域機械工学ユニット 教授

*2：もの創造系領域機械工学ユニット 助教

*3：株式会社アールアンドイー

表2 各被削材の化学組成

	C	Si	Mn	P	S	V
2.0%	2.1	0.58	12.1	0.04	0.01	10.2
2.5%	2.6	0.53	12.5	0.04	0.01	10.3
3.0%	3.0	0.56	12.8	0.04	0.01	10.5
3.5%	3.4	0.59	12.8	0.04	0.01	9.9

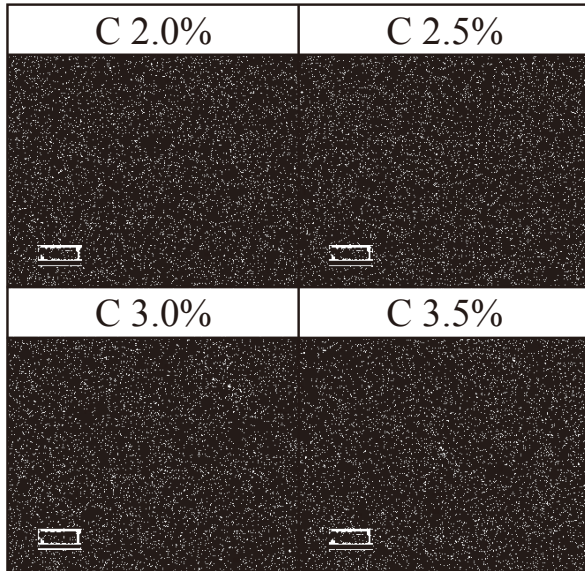


図1 各被削材の組織写真

3 実験結果及び考察

3.1 工具傾斜角と工具寿命

図2、図3に荒加工における工具傾斜角と工具寿命の関係と加工終了時における工具の摩耗状態を示す。図2よりばらつきはあるものの、各工具において傾斜角を20deg. にすることによって、切削時間による背分力の値が低下し、工具寿命が長くなることがわかった。しかしながら、図3より超硬工具(TH)は傾斜角0deg. における60m/minの加工では特に境界部のチップングや欠けが顕著であった。このことより超硬工具(TH)では本実験で使用した高マンガン鋼を60m/min以上で加工するのは困難であると考えられる。

CBN工具の摩耗は大半が正常なすきとり摩耗であり、CBN工具の硬さが被削材に含有される非常に硬い炭化物に対抗できる硬さであるといえる。傾斜角を40deg. とした試験を試みたが、加工によるビビリ振動が大きく工具が折損したため試験を中止した。本試験の傾斜角はワークに垂直で送り方向と平行な面に対して傾けたものであり、他の方向に傾けた場合の影響については今後の検討が必要である。

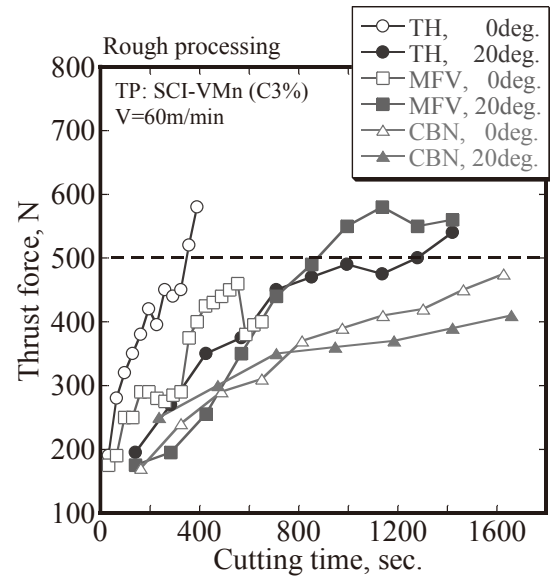


図2 各工具の傾斜角度と背分力の関係

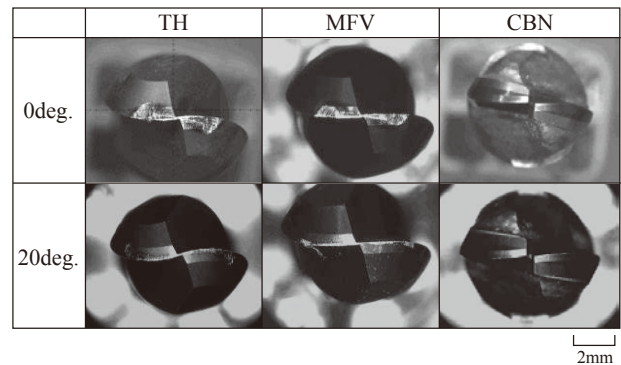


図3 各工具における加工後の摩耗状態

3.2 切削速度と工具寿命

図4、図5に超硬工具(GS)における仕上げ加工時の各切削速度の影響と加工終了時の工具の摩耗状態を示す。図4より仕上げ切削であるにもかかわらず、切削速度が80m/minと100m/minの場合において、短時間で工具寿命と設定した背分力500Nを超える結果となった。図5の加工後における工具損傷状態を確認したところ、80m/minでは境界部が損傷し100m/minでは更に大きく損傷していることから切削速度が速すぎると考えられる。また、仕上げと荒切削は主分力と背分力との割合が異なり、仕上げ加工においては全切削抵抗に占める背分力割合が高いことが要因の一つと考えられる。そのため、背分力を寿命判定基準にする場合の工具寿命は、切込や送りよりも切削速度に依存していることがわかる。使用した超硬工具(GS)においては切削速度60m/minの時に500Nに達する加工時間が10分前後となっていることから、上限の切削速度を超えていると考えられる。

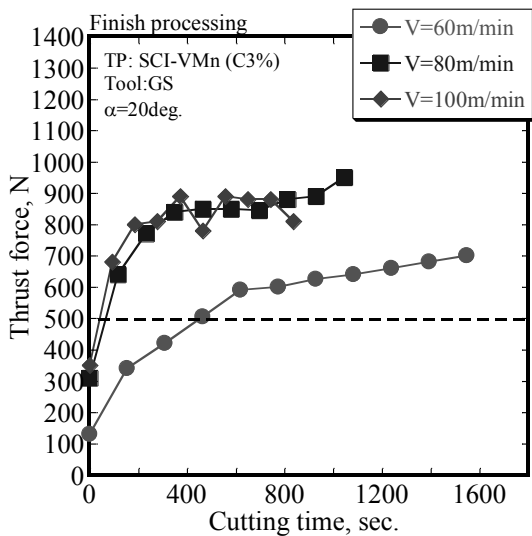


図4 切削速度と背分力の関係

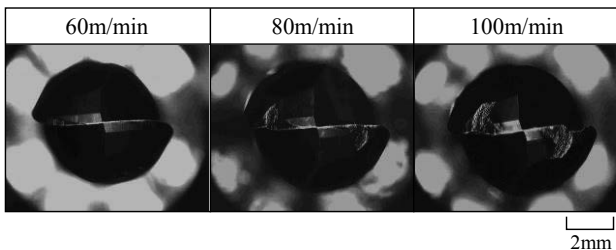


図5 切削速度における加工後の摩耗状態

図6、図7にCBN工具の切削速度及び傾斜角の影響と加工終了時の摩耗状態を示す。CBN工具の摩耗は傾斜角0degの切削速度160m/minを除いて、全てが正常なすきとり摩耗である。そのため、本被削材硬度に適応できた工具であるが切削速度160m/minは速すぎるため、60m/min前後が実用的であると考えられる。

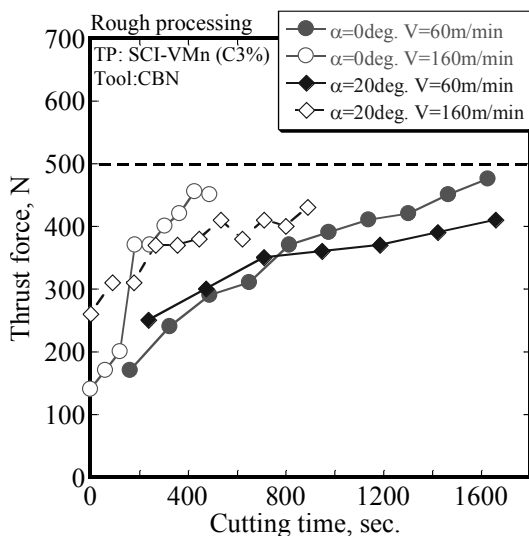


図6 CBN工具における切削角度と速度の影響

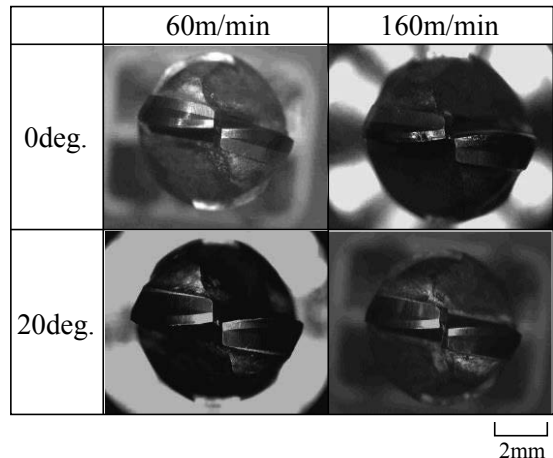


図7 CBN工具における切削後の摩耗状態

3.3 被削材のC含有量と切削抵抗

図8と図9に超硬工具(GS)における被削材中のC含有量の違いによる切削抵抗の変化と工具の摩耗状態を示す。ばらつきはあるものの、全体的に見ると切削条件にかかわらず、C含有量の増加に比例して工具寿命は短くなっていることがわかった。被削材の硬さはC含有量による違いがないことから、組織中に分散された球状炭化物が工具の損傷に大きく影響していると考えられる。

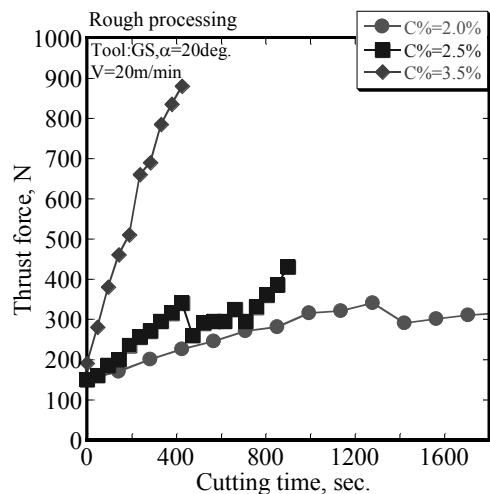


図8 炭素含有量による切削抵抗の変化

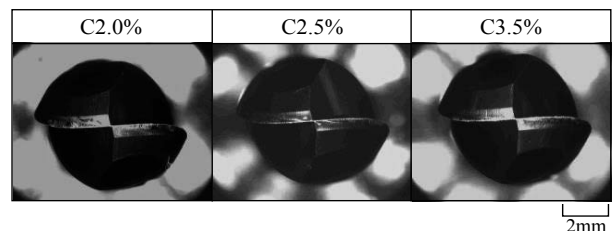


図9 各炭素含有量におけるCBN工具の摩耗状態

3.4 加工硬化による切削性能への影響

SCI-VMn が難削材である理由は、非常に硬い球状炭化物が分散されていることにあるが、それに加えて加工硬化を起こし易い特徴があるためと考えられる。そのため、加工開始からの切削長さごとの断面のビッカース硬さを測定した。図 10 と図 11 に切削長さ及び炭素量による断面硬さの結果を示す。C 含有量 3.0% の内部硬さは HV450 程度であった。従って、それ以上の硬さを示した部分は加工硬化したと考えられ、硬化層の最大硬さは HV800 程度となっていた。ばらつきはあるが C 含有量が高いものほど表面硬さは高く、硬化層深さも深くなっていた。図 12 に被削材を C3.0% として超硬工具(GS)で加工を行った内部組織写真と加工硬化後の写真を示した。本試験のエンドミル加工では加工硬化のないワイヤーカット面の切削とエンドミル加工した面での切削で、ほぼ同じ工具寿命であったことより、工具寿命を支配しているのは球状炭化物であり加工硬化の影響は少ないと考えられる。

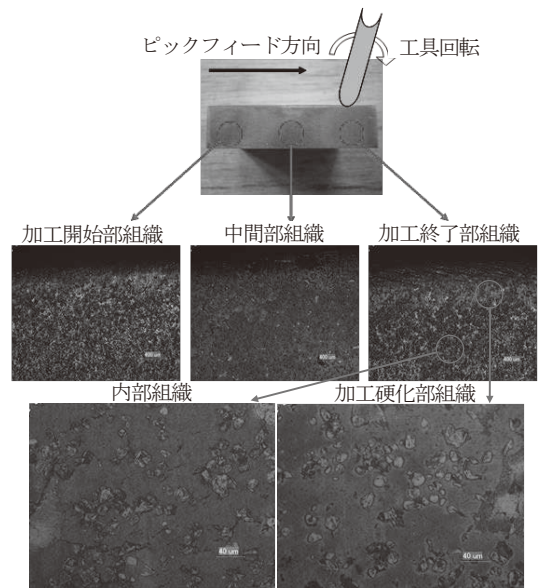


図 12 加工前後における組織写真

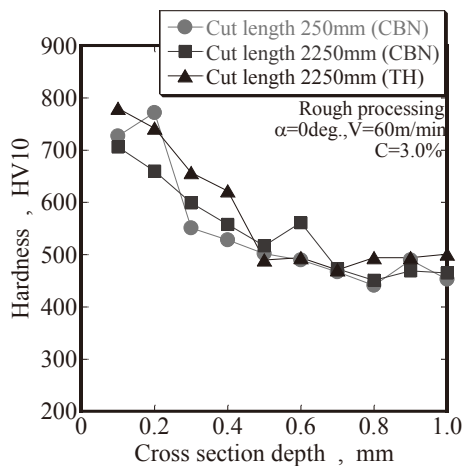


図 10 切削長さによる断面硬さ

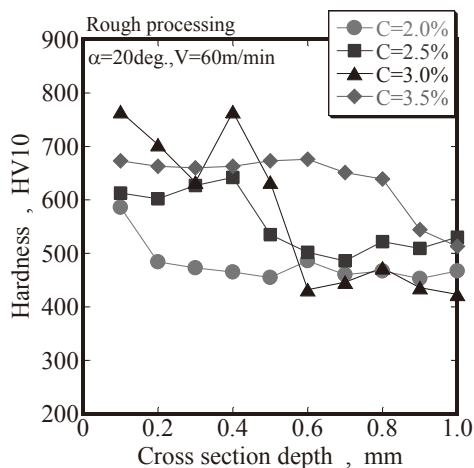


図 11 炭素含有量による断面硬さ

4 まとめ

本研究の目的として、難削材である SCI-VMn の加工性を明確にするために切削角度や加工速度などの条件を変更して加工実験を行い、切削条件に起因する加工への影響を調査した。その結果を以下に要約する。

- (1) 工具を被削材に対して 20deg.に傾けて加工することで切削時間による背分力の値が低下し、工具寿命を延ばすことが可能である。
- (2) CBN 工具は本被削材のエンドミル加工に有効であるが、超硬にコーティングした市販の高硬度材用の工具は寿命が短いだけでなくチッピングや欠けが発生するため実用的とはいえない。
- (3) 本被削材における CBN 工具の実用的な切削速度は約 60m/min 程度である。
- (4) 被削材の C 含有量が高いほど加工硬化が起こり易くなるが、加工硬化の有無による工具寿命は同等であった。このことから、工具寿命を支配しているのは球状炭化物であり加工硬化の影響は少ないと考えられる。

参考文献

- 1) 球相材料研究会編：京都発新材料の開発 球状炭化物 (2006), 日刊工業新聞社
- 2) 中満清博, 清水一道：鑄造工学, 68(1996), 772
- 3) 新巴雅尔, 清水一道, 他：鑄造工学, 82(2006), 344

凝固速度の異なる Al-Si-Cu-Mg 合金の時効特性

安藤哲也*¹, 古川勇*²

1 緒言

Al-Si-Cu-Mg 合金は、機械的性質、被削性、鋳造性にバランスのよい材料であり、アルミダイカスト用として自動車部品などに広く使用されている。アルミダイカストの場合、内部に空気などが入った場合、これが熱処理によって膨張して内部欠陥の原因となる可能性があるため、多くはダイカストのまま使用されている。しかしながら、高真空プロセス等のダイカスト技術の進化により、ダイカスト品にも熱処理が適用できるようになり、熱負荷の高い部分の要求特性に対応するため、熱処理を実施している。近年、環境問題の観点から社会的に CO₂ 削減が求められ、製造過程においても、部材としての性能を維持しつつ CO₂ を削減することが要求されている。

Al-Si-Cu-Mg 合金鋳物における組織形成に及ぼす冷却速度の影響については、Aguilera-Luna らの研究があるが、析出強化に影響を及ぼす Cu 等の形態や人工時効処理の影響についての言及はされていない。本研究では、異なる冷却速度により鋳造した Al-Si-Cu-Mg 合金鋳物における、人工時効処理後の機械的性質調査ならびに組織観察をおこない、凝固速度と時効処理特性との関係について調査した。

2 実験方法

2.1 調査材

Al-11.0 mass%Si-1.9 mass%Cu-0.2 mass%Mg 合金を、

*1：もの創造系領域先進マテリアル工学ユニット

*2：トヨタ自動車株式会社

重力鋳造法により直径 60 mm、高さ 150 mm の円柱状に鋳造し、冷却条件を制御することにより二種類の異なる冷却速度の鋳塊を得た。注湯直前の溶湯温度は約 800 °C であり、実測した冷却曲線から算出される二種類の凝固速度はそれぞれ、16 K/s および 7.7 K/s であった。鋳型材質は、前者にはクロム銅を、後者には SKD61 を用い、ともに肉厚は 20 mm とした。

2.2 調査項目

冷却速度測定をおこなった近傍より試験片を採取し、マイクロ組織観察および時効処理後の機械的性質測定をおこなった。

マイクロ組織観察は、光学顕微鏡、電子プローブマイクロアナライザー (Electron Probe Micro Analyzer, EPMA) ならびに透過型電子顕微鏡 (Transmission Electron Microscope, TEM) により実施した。EPMA 分析では、晶出物を同定することを目的とし、機器分析センターの日本電子 JEOL JXA-8900R を用い、面分析ならびに定量分析をおこなった。TEM の試料は、ツイングレット法により 30 % ナイタル液を用いて作製し、観察は機器分析センターの日本電子 JEOL JEM-2100F を用い、加速電圧 200 kV でおこなった。

鋳造材の機械的性質は、ビッカース硬さ測定ならびに引張試験によりおこなった。ビッカース硬さ測定は、Future-tech FV-300A 硬さ試験機を用い、荷重 4.9 kN としておこなった。引張試験は、島津製作所 AG-50kNE 引張試験機を用い、試験片の平行部寸法は、外径 6 mm、長さ 40 mm とした。

時効処理後の機械的性質は、150 °C に設定した電気炉内に 24 時間保持することにより人工時効処理をおこなった後に、ビッカース硬さ測定により実施した。溶体化処理をおこなう場合には、540 °C に設定した電気炉内へ 30 分保持後に水冷し、直ちに人工時効処理をおこなった。

3 実験結果および考察

3.1 光学顕微鏡組織および EPMA 分析

光学顕微鏡によるマイクロ組織観察を Fig. 1 に示す。Fig. 1 に示されたとおり、凝固速度が約 2 倍に増加することに伴い針状晶出物が減少し、粒状晶出物は微細化、減少した。その一方で、初晶 α 相比率が増大していることが確認された。

EPMA 分析の結果を Fig. 2 に示す。晶出物の多くには Si が検出された一方、Cu を主体とする晶出物の存在も確認され、凝固速度が 7.7 K/s の場合には、Cu と同一位置に Mg が検出された。Cu を含んだ粒状晶出物は、 Q - $Al_5Mg_8Si_6Cu_2$ 相あるいは θ - $CuAl_2$ 相であると報告されている²⁾が、Mg が存在していた位置には Si が検出されていないことから、 S - $CuMgAl_2$ 相の存在が示唆された。 S 相、 Q 相、 θ 相にはいずれも、固溶強化または時効処理後の析出強化に大きく寄与する Cu や Mg が含まれているため、凝固速度の増大に伴って粒状晶出物が減少したことにより、Cu や Mg が晶出することなく過飽和に固溶したことが期待される。

3.2 機械的性質

casting material's mechanical properties are shown in Table 2. Table 2 shows that the difference in Vickers hardness for the solidification rate difference (approximately 12% increase) is compared with the difference in tensile strength (approximately 2 times and larger). Fig. 1 shows that the increase in solidification rate

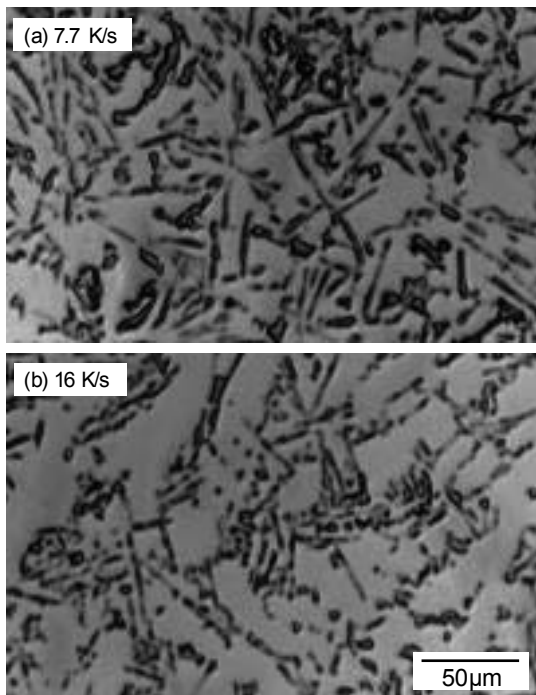


Fig. 1 調査材の光学顕微鏡組織写真.

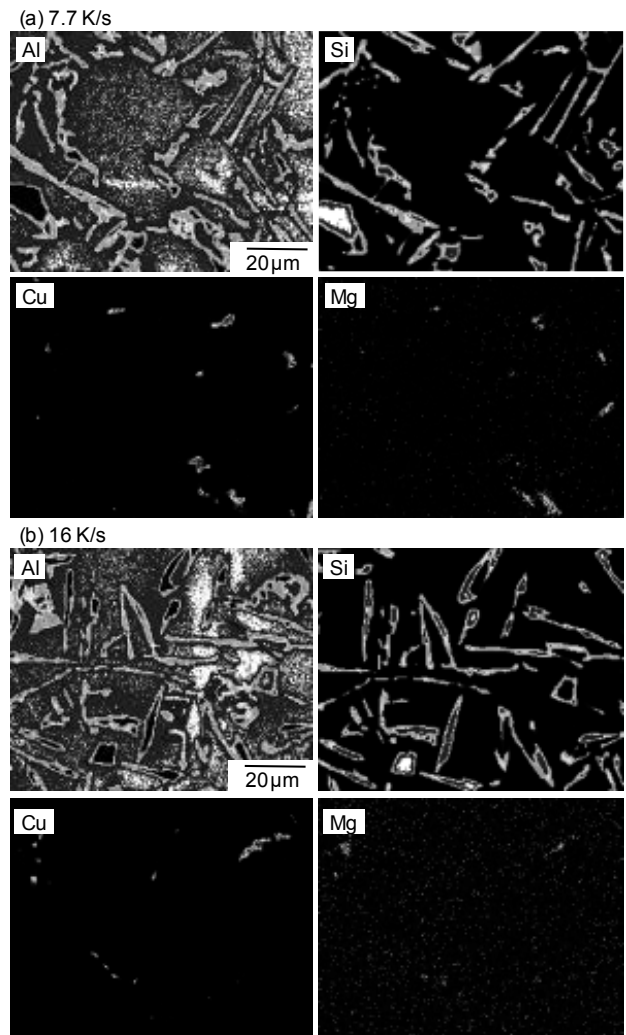


Fig. 2 調査材の EPMA 分析結果.

Table 2 鋳造材の機械的性質.

Solidification rate / K/s	Vickers hardness	Tensile strength / MPa
7.7	92.8	129
16	104	248

と共に針状晶出物が減少していたが、一般に針状 Si 相は延性の低下を招くことが知られており、延性の増大に伴う加工硬化量の増大が引張強さの増大につながったものと考えられた。

溶体化処理をおこなった後に人工時効処理した材料 (T6 処理材) ならびに鋳造のまま人工時効処理をおこなった材料 (T5 処理材) の、時効処理後の硬さ測定結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3 に示されたように、凝固速度が 7.7 K/s、16 k/s のいずれの材料においても、溶体化処理後に人工時効処理をおこなった T6 処理材の場合には、ほぼ同等の硬さの上昇が認められた。一方、T5

処理材の場合には、凝固速度が 7.7 K/s の材料の硬さ上昇は約 15 %であったが、16 K/s の材料では約 30 %の硬さ増大が生じ、T6 処理の場合とほぼ同じ硬さが得られた。

光学顕微鏡組織観察において、16 K/s 材は 7.7 K/s 材に比較し、晶出物量が減少し、初晶 α 相比率が増大していたことから、凝固速度の増大に伴い、合金元素の晶出が抑制されたことで過飽和に固溶し、その後の人工時効処理により析出が生じたことで硬さ上昇に寄与したものと推測された。

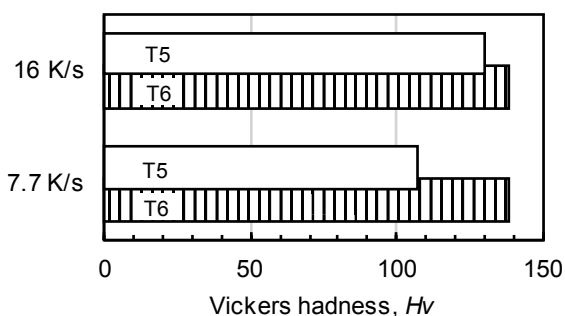


Fig. 3 人工時効処理後のビッカース硬さ測定結果.

3.3 透過電子顕微鏡組織

上記推定メカニズムを検証するため、硬さ上昇の生じた凝固速度 16 K/s 材の T5 処理材に関し、TEM を用いた STEM-EDX マッピング像を Fig. 4 に示す。Fig. 4 に示されたとおり、Si や Mg は均一に分散しているのに対し、Cu は濃縮が生じていることが確認された。

この濃縮が確認された領域において、入射電子線方向を[001]方向とした場合の制限視野回折 (SAD) 像ならびに回折スポットの解析結果を Fig. 5 に示す。Fig. 5 に示されたとおり、アルミニウム母相の回折スポットとは別に、母相と特定の方位関係をもつ析出物の回折スポットが確認された。Fig. 4 の結果を考慮すると、人工時効処理をおこなうことにより、Cu 系の化合物が析出したものと考えられた。しかしながら、析出物の同定には至っていない。

4 結言

凝固速度の異なるにより Al-Si-Cu-Mg 合金鋳物における、人工時効処理後の機械的性質調査ならびに組織観察をおこない、凝固速度と時効処理特性との関係について調査し、以下の結果を得た。

(1) 凝固速度の増大に伴い、晶出物の生成量が減少した。

前記は、合金元素が過飽和に固溶していることを示唆するものである。

(2) 人工時効処理後の機械的性質調査の結果、凝固速度が 16 K/s の場合には、溶体化処理を省略した T5 材の場合においても、T6 材と同等の硬さが得られた。

(3) 硬さの増大がみられた T5 材の TEM 観察の結果、Cu 系化合物と推測される析出物の存在が確認された。すなわち、硬さ上昇の原因は、その析出強化によるものと考えられた。

文献

(1) Aguilera-Luna, I., Castro-Román, M. J., Escobedo-Bocardo, J. C., García-Pastor, F. A. and Herrera-Trejo, M., *Materials Characterization*, 95 (2014), p211-218.

(2) Zheng, Y., Xiao, W., Ge, S., Zhao, W., Hanada, S. and Chaoli, M., *Journal of Alloys and Compounds*, 649 (2015), p291-295.

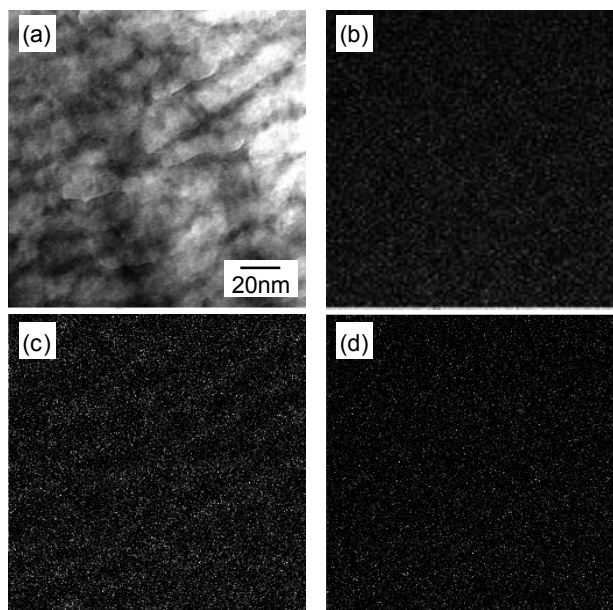


Fig. 4 透過電子顕微鏡 STEM-EDX マッピング (a)BF 像, (b)Si, (c)Cu, (d)Mg).

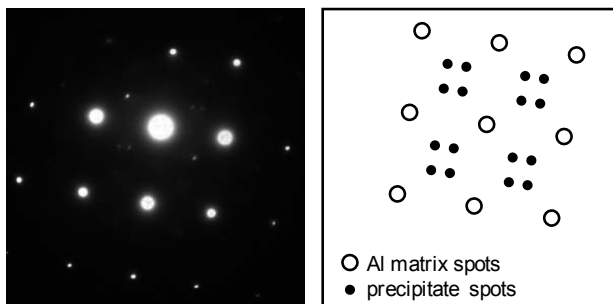


Fig. 5 透過電子顕微鏡制限視野回折像 (入射電子線方向 // [001]).

表面改質処理層における非破壊評価手法の適用基礎研究

西川詠二^{*1}, 朴峻秀^{*2}, 岸本弘立^{*2}, 神田千智^{*2}

1 はじめに

プレス用金型の長寿命化のために PVD や窒化処理等による金型表面の高硬度化による耐久性向上が行われている。特に、窒素の浸透拡散による窒化処理は幅広く実用化されており、ウメトク株式会社（以後、ウメトク社）においても製品の熱処理・表面処理プロセスとして大いに活用されており、当社は最先端の設備と共に長年のノウハウと技術力を有している。しかしながら、プレス用金型の長寿命化には素材・表面処理工程を含む高度な品質管理が必要であるが、素材・表面処理層の深さ及び特性と表面処理条件との相関に関する定量的な評価結果に基づく理解は十分とは言えず、品質評価も未だテストピースによる破壊試験に依存しており、品質向上・コスト低減の観点から改善が求められる。

本研究は表面改質処理層における非破壊評価手法の適用基礎研究として、窒化処理したダイス鋼の表面改質処理層における詳細な微細組織評価を行い、プレス用金型の長寿命化及び非破壊的手法による簡便な表面処理層の深さ及び特性の判定手法開発に向けた基礎データの取得を目的としており、以下に検討結果を述べる。

2 実験方法

母材としてダイス鋼と呼ばれる SKD-61 を用い、表面にプラズマ窒化処理（ユニコート X10）を行った。

*1：ウメトク株式会社 北海道加工センター

*2：環境・エネルギーシステム材料研究機構

窒化処理は窒化層深さ 50 μm および窒化層深さ 100 μm の 2 条件で行っており、サンプルは大きさ 12~13 \times 10 \times 30mm 程度の角柱であり、それぞれの処理深さについて 3 種類ずつである。以下の表 1 にサンプル一覧を、表 2 に SKD-61 の成分表を示す。

表 1 受理サンプル一覧

窒化層深さ	サンプル ID
50 μm	A,B,C
100 μm	D,E,F

表 2 SKD-61（ダイス鋼）の成分表⁽¹⁾

化学成分 (Mass%)		
C	0.35~0.42	
Si	0.80~1.20	
Mn	0.25~0.50	
P	< 0.030	
S	<0.020	
Ni	-	
Cr	4.80~5.50	
Mo	1.00~1.50	
W	-	
V	0.80~1.15	
Co	-	

窒化層の微細組織評価のために、窒化処理面の断面を電解放出型走査型電子顕微鏡（FE-SEM, JSM-6700F, JEOL 社）ならびに電解放出型透過型電子顕微鏡（FE-TEM, JEM2100F, JEOL 社）を用いて観察を行った。FE-SEM の観察試料作成方法を、以下の図 1 に示す。精密切断機を用いてスライスしたサンプルをアクリル系樹脂に埋める冷間埋込を行った後、鏡面研磨を行った。FE-TEM の試料は、収束イオンビーム（FIB, SMI3050, 株式会社日立ハイテクサ

イエン) で窒化処理面から深さ方向に掘り出し, マイクロピックアップにより FE-TEM 観察用の試験片を取得・作製した。

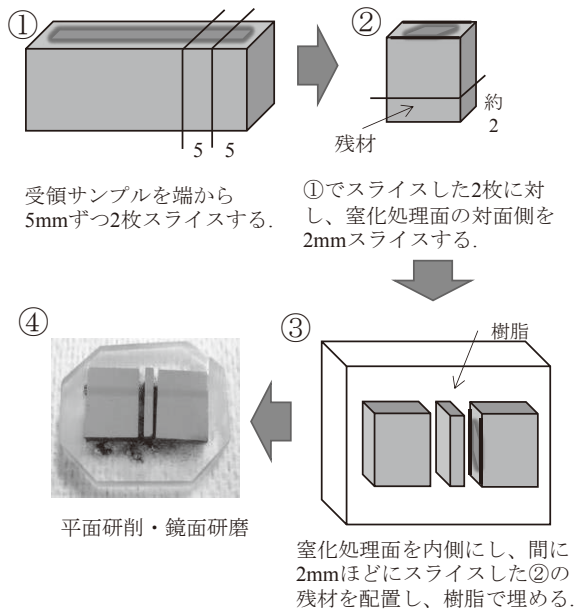


図1 微細組織観察用試験片の作製手順

3 実験結果及び考察

3.1 薄窒化層サンプル (50 μm) の観察結果

以下の図2に、窒化処理を行った試験片の外観および窒化層のFE-SEM (組成像) 観察結果を示す。サンプルBおよびサンプルCでは10 μm 前後の結晶およびごく小さな軽元素によるスポットと、最表面深さ1~2 μm までの周辺組織より軽い元素からなる表面層の存在が確認された。一方、サンプルAでは最表面での表面層は確認できておらず、拡散層において、数 μm サイズの第二相が見られる事から、サンプルBおよびサンプルCと材質又は処理条件の異なるサンプルである。

窒化処理層深さ50 μm サンプルの内、サンプルC

についてより詳細な検討を実施した。FE-SEMによる詳細な観察結果を図3に示す。SKD-61を含む熱間工具鋼で耐磨耗性の確保を目的として分散されている炭化物だと考えられるサブミクロンサイズの黒いスポットが組織全体で確認された。表面から約20 μm までの領域では結晶境界が黒く見える事から、粒界における組成の違いが伺える。

	外観	表面微細組織
A		表面層確認できず 5 μm
B		表面層厚さ： 約1.0 μm 5 μm
C		表面層厚さ： 約2.1 μm 5 μm

図2 窒化処理層深さ50 μm サンプルの外観と断面観察結果

3.2 深窒化層サンプル (100 μm) の観察結果

以下の図4に、サンプルの外観およびFE-SEM (組成像) 観察結果を示す。数値にばらつきは見られるが、いずれのサンプルにおいても表面層、結晶粒および炭化物のスポットが確認された。

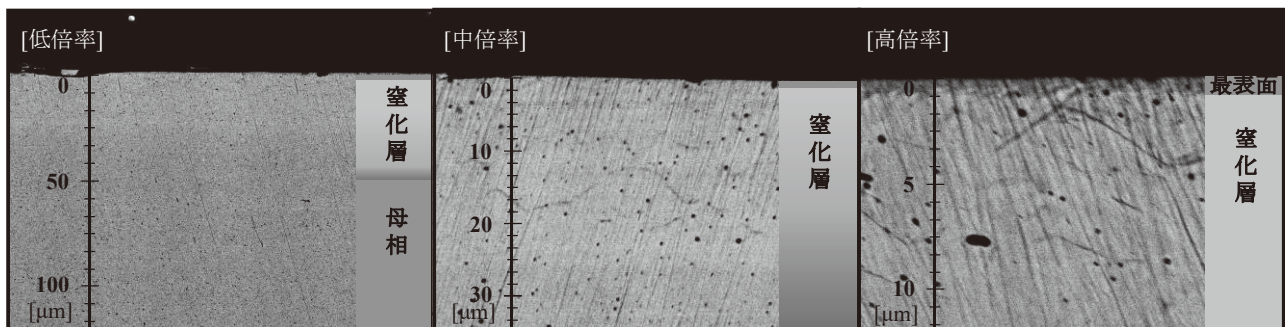


図3 サンプルCの微細組織観察写真

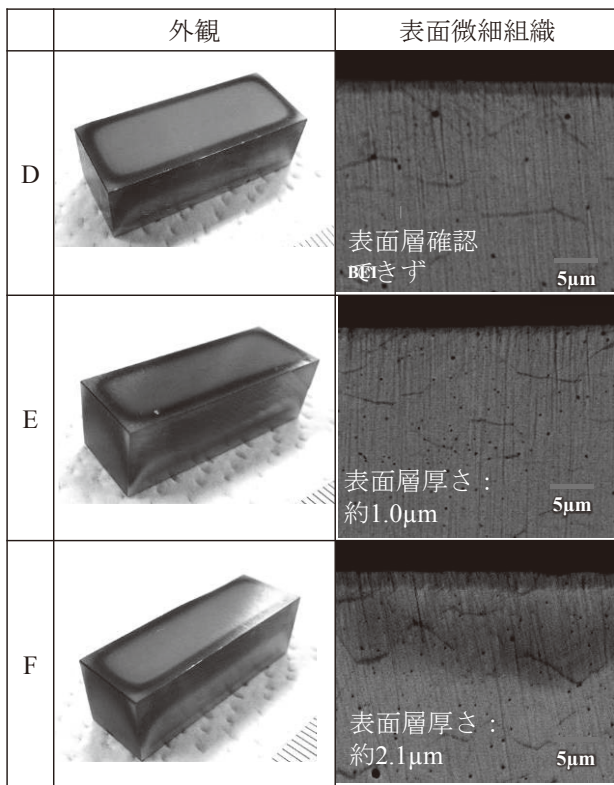


図4 窒化処理層深さ100μm サンプルの外観と断面観察結果

このうち、サンプルFについて、より詳細な検討を実施した。FE-SEMによる詳細な観察結果を図5に示す。母材よりも軽い元素から構成されている最表面層の下には結晶粒が確認できる層がおよそ106μm深さまでみられた。さらに、窒化層50μmサンプルCとは異なり、サブミクロンサイズの炭化物と見られるスポットは表面から約150μmで密に存在している事がわかった。さらに拡大すると、サブミ

クロンサイズの炭化物と見られるスポットは、粒内・粒界を問わず視野全体に万遍なく存在していた。

図6は窒化層厚み100μm サンプルの表面近傍の断面組織を透過電子顕微鏡により観察し、EDX装置を用いて組成分析を行った結果である。FIBで製作した試料の膜厚が厚かったために微細組織の詳細までは十分に把握できないが、極表面にクロム及びびに酸素濃度の高い領域が存在しており、Cr酸化膜層が形成されていると思われる。表面近傍のおよそ1μmの深さまで組織の異なる領域が観察され、窒素濃度の高い領域となっている。これが図4などで観察される軽元素番号の元素からなる表面層に対応していると思われる。また同様に観察された析出物は炭化バナジウム(VC)であると考えられるが、Cr, Moも同様の部分に確認できる事からMX型炭窒化物(M = Cr, Mo : X = C, N)の可能性も否定できない。EDX分析で明瞭に認められる析出物の大きさは100nmから500nm程度と粗大であり、少なくとも析出強化には寄与しないと推察される。

図7は表面から深さ方向に取った、酸素、窒素、炭素の線分析結果である。Cr酸化物相の直下で窒素濃度が最高となり、深さ方向に従って減少する。表面近傍の高窒素濃度領域での窒素濃度は5~10at%程度であり、表面から深さ5μmの領域では3at%程度まで減少する。EDX分析における軽元素濃度の絶対値に関する信頼は乏しいが、表面近傍の窒素濃度が高く、また深さ方向に行くに従って低下する傾向があることが確認できる。

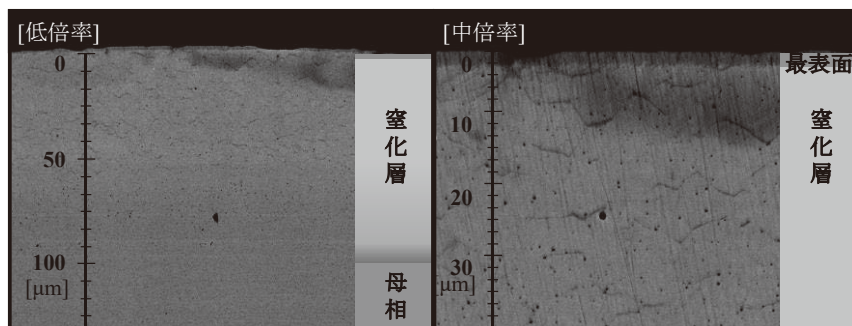


図5 窒化層厚み100μm サンプルFの観察結果

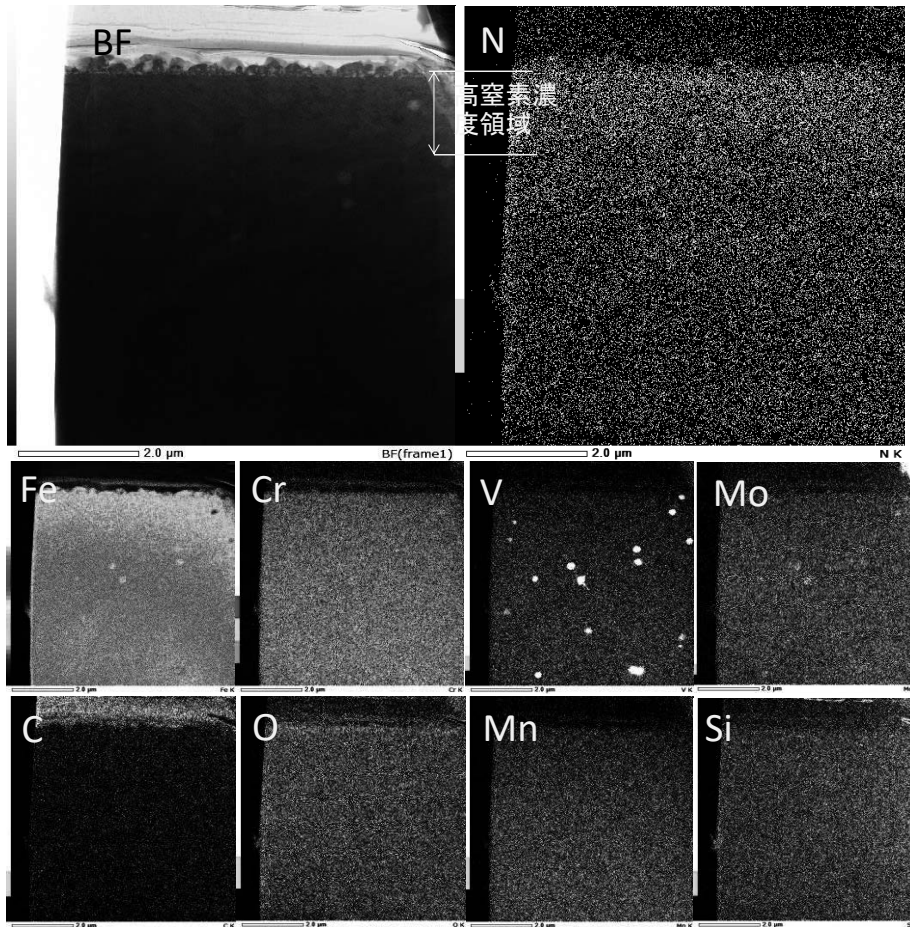


図6 FE-TEM を用いた 100μm サンプル表面の断面組織と EDX 分析結果

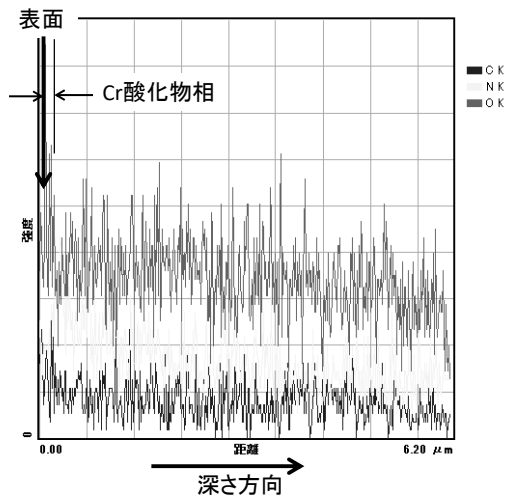


図7 表面から深さ方向の酸素,窒素,炭素濃度の線分析結果

4 まとめ

プレス用金型の長寿命化を目的とし,プラズマ窒素処理プロセスの高度化及び表面改質処理層にお

文献

る非破壊評価手法の開発が求められており,本研究は表面改質処理層における非破壊評価手法の適用基礎研究として,窒素処理したダイス鋼の表面改質処理層における詳細な微細組織的評価を行った.

プラズマ窒素処理を行った SKD-61 サンプルにおいて,FE-TEM と EDX 分析により表面近傍の窒素濃度が高まっている事を確認した.窒素域にはサブミクロンの VC (もしくは MX) と思われる粗大な析出物が多数出現し,また窒素域は粒界観察が容易になることから結晶粒界上に析出物もしくは第 2 相が出現しているものと推定できる.以後,微細組織及び物性データベースを構築し,処理条件との相関関係からプラズマ窒素処理プロセスの高度化及び表面改質処理層における非破壊評価手法の開発を進めて行きたい.

(1)日本工業規格 JIS4404:2206 合金工具鋼鋼材

【第 28 回フロンティア技術検討会】

第28回フロンティア技術検討会

【日 時】平成28年10月28日(金) 15:00 ~ 19:15

【場 所】中嶋神社 蓬峯殿(室蘭市)

【参加者】132名

フロンティア技術検討会は、室蘭地域の産業に有用な技術や今日的な課題等のテーマについて、大学や行政、専門家、企業の経営者等、様々な方々による講演を通して地域連携や新たな技術の普及などに貢献してきました。室蘭テクノセンターは地域のものづくり産業支援機関として参画して参りましたが、今年は財団設立30周年ということもあり、「ものづくり」の原点に立ち返り、ものづくり人材の教育機関である大学と、実際に、ものづくりの現場にいて様々な社会活動や人材育成に取り組んでいる企業人のご講演をいただき、室蘭地域ものづくり産業の振興発展に向けた取り組みについて考えていきます。

【講演会】

テーマ：ものづくりルネッサンス

【開会挨拶】

公益財団法人 室蘭テクノセンター理事長 栗林 和徳

● 講演1「地域創生とイノベーション創出 ～人材育成と地域企業支援～(30分講演)

講 師 室蘭工業大学

CRD副センター長 清水 一道 氏

人口減少・生産に携わる若者の流出などが問題となっています。今後の北海道経済に対して室蘭工業大学はどの様に対応ができるかを考え、現在進めている人材育成事業や、地域社会との連携強化事業(COC+事業)、地域企業との研究開発の取り組みなど、人材育成と企業支援について紹介いたします。

● 講演2「東京 墨田 下町工場の挑戦」(90分講演)

講 師 株式会社 浜野製作所

代表取締役 浜野 慶一 氏

浜野製作所では「おもてなしの心」「スピード・実行・継続」をキーワードに、常に新しいものづくりにチャレンジしております。

講演では会社の経営理念を主軸として、これまでの弊社の歩み(経営理念が生まれるきっかけとなった工場焼失からの復活とその後の活動)や今後の展望、進むべき道についてお話しさせていただきます。

中小ものづくり企業として、単純な下請け体質を脱却するには従来の経営体制のままではいられません。弊社が積極的に取り組んできた電気自動車HOKUSAI・深海探査艇江戸っ子1号を始めとした産学連携プロジェクトや、具体的な活動事例のご紹介を通して、中小製造業のあり方とは何かを考えるきっかけにいただければ幸いです。

【産・学・官交流会】 (90分)

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
- ・(公財)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 I M連携促進会

【平成 28 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28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	加速器材料としてのSiC/SiCの可能性の探索	※もの創造系領域 准教授 朴 峻秀 OASIS 機構長 香山 晃 もの創造系領域 准教授 岸本 弘立 もの創造系領域 助 教 中里 直史 OASIS 研究員 神田 千智 OASIS 研究員 早坂 大輔	大阪大学素粒子物理学 実験研究グループ 准教授 青木 正治 高エネルギー加速器研究機構物質 構造科学研究所 ミュオン科学研究施設 技 士 牧村 俊介 (独)日本原子力研究開発機構 放 射線高度利用施設部 ビーム技術開発課 研究員 的場 史朗
2	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 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
3	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 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
4	大型建設機械バルブボディ用強度化厚肉鋳物の研究開発	もの創造系領域 教 授 清水 一道 ものづくり基盤センター 助 教 楠本 賢太	近畿大学理工学部 機械工学科 教 授 木口 昭二

民間等との共同研究

NO	大学側研究代表者	件数		
1	もの創造系領域 教授 清水 一道	8	22	もの創造系領域 講師 長船 康裕 2
2	もの環境系領域 准教授 成田 幸仁	11	23	しくみ情報系領域 教授 福田 永 1
3	もの創造系領域 教授 平井 伸治	5	24	しくみ情報系領域 教授 塩谷 浩之 1
4	くらし環境系領域 准教授 小室 雅人	4	25	しくみ情報系領域 准教授 倉重 健太郎 1
5	しくみ情報系領域 教授 板倉 賢一	3	26	くらし環境系領域 教授 大平 勇一 1
6	くらし環境系領域 講師 栗橋 祐介	3	27	くらし環境系領域 教授 木村 克俊 1
7	もの創造系領域 教授 岸本 弘立	3	28	くらし環境系領域 助教 馬渡 康輝 1
8	もの創造系領域 教授 相津 佳永	3	29	くらし環境系領域 教授 中津川 誠 1
9	もの創造系領域 教授 世利 修美	3	30	くらし環境系領域 准教授 有村 幹治 1
10	航空宇宙機システム研究センター 教授 東野 和幸	4	31	くらし環境系領域 准教授 上井 幸司 1
11	しくみ情報系領域 教授 岸上 順一	2	32	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
12	しくみ情報系領域 教授 永野 宏治	2	33	くらし環境系領域 准教授 山中 真也 1
13	しくみ情報系領域 准教授 梶原 秀一	2	34	くらし環境系領域 助教 崔 亨吉 1
14	くらし環境系領域 教授 溝口 光男	2	35	くらし環境系領域 特任教授 宮澤 邦夫 1
15	くらし環境系領域 教授 濱 幸雄	2	36	もの創造系領域 教授 亀川 厚則 1
16	くらし環境系領域 教授 溝口 光男	2	37	もの創造系領域 教授 佐伯 功 1
17	くらし環境系領域 教授 濱 幸雄	2	38	もの創造系領域 教授 花島 直彦 1
18	くらし環境系領域 助教 永井 宏	2	39	OASIS(環境・エネルギーシステム材料研究機構) 准教授 朴 峻秀 2
19	もの創造系領域 教授 樋口 健	2	40	もの創造系領域 教授 上羽 正純 1
20	もの創造系領域 教授 風間 俊治	2	41	もの創造系領域 教授 今井 良二 1
21	もの創造系領域 准教授 境 昌宏	2		

42	もの創造系領域	教授	藤木 裕行	1	45	もの創造系領域	講師	松本 大樹	1
43	もの創造系領域	准教授	廣田 光智	1	46	もの創造系領域	助教	葛谷 俊博	1
44	もの創造系領域	准教授	溝端 一秀	1	47	もの創造系領域	助教	中田 大将	1

民間機関等からの受託研究

NO	大学側研究代表者	件数	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	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	2	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2	くらし環境系領域 准教授 徳楽 清孝	4	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
3	くらし環境系領域 准教授 有村 幹治	3	12	13	14	15	16	17	18	19		
4	くらし環境系領域 准教授 吉田 英樹	2	13	14	15	16	17	18	19			
5	くらし環境系領域 教授 中津川 誠	2	14	15	16	17	18	19				
6	くらし環境系領域 准教授 上井 幸司	2	15	16	17	18	19					
7	しくみ情報系領域 教授 塩谷 浩之	2	16	17	18	19						
8	しくみ情報系領域 教授 佐藤 孝紀	1	17	18	19							
9	くらし環境系領域 教授 チャン ヨン Chol	1	18	19								
			19									

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	水素社会構築のための 新規脱水素触の開発	※くらし環境系領域 准教授 神田 康晴	(株)フレイン・エナジー 代表取締役 小池田 章 技術部プロジェクトリーダー 永金 雅浩
2	新しい作用機序を有する 有機ゲルマニウム抗イン フルエンザ薬候補物質の 創製研究	※くらし環境系領域 教授 中野 博人	(株)浅井ゲルマニウム研究所 代表取締役社長 志柿 松作 研究部・物質科学マネジメント 佐藤 克
3	多種類 MoCap データに 対応した身体動作データ ベースの構築	※しくみ情報系領域 助教 柴田 傑	(株)わらび座 代表取締役 山川 辰巳 デジタルアートファクトリ・チーフエンジニア 海賀 孝明
4	多合金鋳鋼の切削加工技 術の研究開発	※もの創造系領域 教授 清水 一道	(株)アールアンドイー 代表取締役 北山 茂一 研究開発部 主任研究委員 原 宏哉
5	自動車用アルミニウム鋳 物の使用環境下経時変化 に関する変化	※もの創造系領域 准教授 安藤 哲也	トヨタ自動車(株) 鋳造生技部 部長 門野 英彦 鋳造生技部 開発室 古川 勇
6	表面改質処理層における 非破壊評価手法の適用基 礎研究	※環境エネルギーシステム 材料研究機構 准教授 朴 峻秀	ウメトク(株) 北海道加工センター 係長 西川 詠二

平成 28 年度研究シーズ出展助成事業

①出展研究シーズ名：ホウ酸アルミナノウイスキーの合成法（腐食合成法）

申請教員： もの創造系領域 講師 長船康裕

出展内容： 金属の腐食現象（溶解）を利用した無機酸化物を合成プロセスである。溶媒で金属を電気化学的に溶解させ、その後、加水分解やpH調整によって析出させた粉体を焼成して無機酸化物を得る。液相中で析出する粉体はナノ粒子化しており、混合元素も均一に分散している。複酸化物を合成する際の第3元素を液体で混合するため、目的とする酸化物純度を高くすることができ、簡便な装置で粉体（ナノ粒子）を大量生産することを可能にする。

【想定される活用例】

- ・アルミニウムなどの金属複合材料の骨材
- ・樹脂系複合材料の骨材
- ・機能性無機複合酸化物の合成

②出展研究シーズ名：大きな磁気光学効果を示す液体とその光デバイス応用

申請教員： 暮らし環境系領域 准教授 飯森俊文

出展内容： 出展分野 装置・デバイス

小間番号 M-01

展示概要 光アイソレータ等の磁気光学デバイスに用いられるファラデー回転子として、一般に結晶等の固体材料が用いられている。固体材料を用いたファラデー回転子の場合、回転子の形状を調整するには結晶等の材料自体を加工する必要がある。このため、回転子の形状調整は容易ではない。本展示では、上記の課題を解決するために液体材料を用いることが有用であることを紹介する。さらに液体の磁気光学効果のパラメーターと磁気光学デバイスへの応用の可能性について紹介する。

展示会名： イノベーション・ジャパン 2016 - 大学見本市

日 時： 平成 28 年 8 月 25 日(木) ～ 26 日(金)

場 所： 東京ビッグサイト

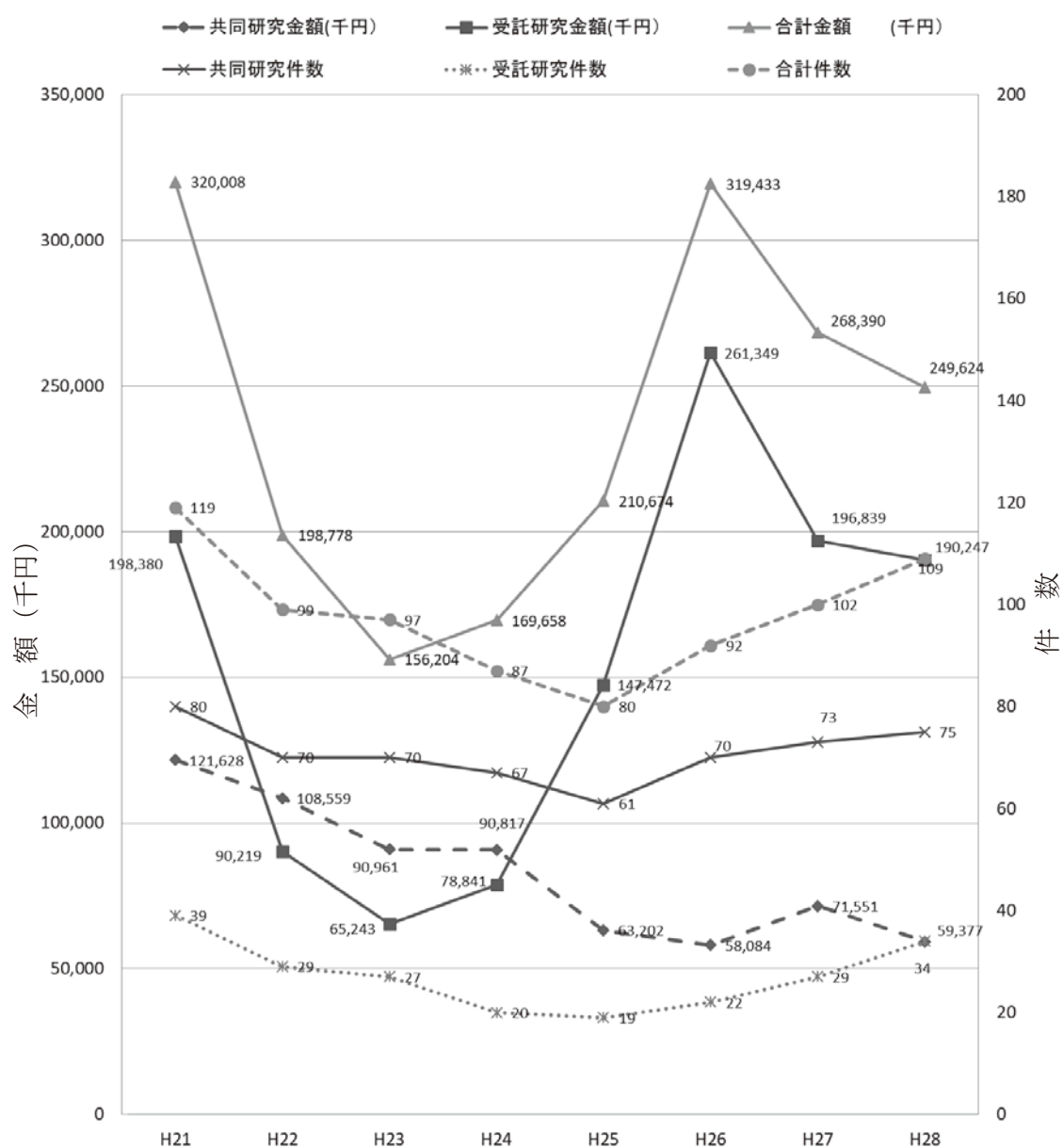
参加者： 20,576 名 (8/25～8/26)

技術相談

①30 件

「民間との共同研究」及び「受託研究」の件数と研究経費の推移

年度	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28
共同研究金額(千円)	121,628	108,559	90,961	90,817	63,202	58,084	71,551	59,377
受託研究金額(千円)	198,380	90,219	65,243	78,841	147,472	261,349	196,839	190,247
合計金額(千円)	320,008	198,778	156,204	169,658	210,674	319,433	268,390	249,624
共同研究件数	80	70	70	67	61	70	73	75
受託研究件数	39	29	27	20	19	22	29	34
合計件数	119	99	97	87	80	92	102	109



民間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 28 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

人材教育

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

他機関との連携活動

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 28 年度 事業活動

1. 研究の活性化、共同研究の推進(58 頁)

- (1)平成 28 年度プレ共同研究(審査)(6 件)
- (2)研究協力会役員会および総会
- (3)(株)電制との共同研究会議(6 回)
- (4)東亜製薬(株)との共同研究会議
- (5)(株)メイセイエンジニアリングとの共同研究会議(35 回)
- (6)千代田商事(株)との共同研究会議
- (7)第 28 回国立大学法人共同研究センター長等会議
- (8)技術相談(30 件)

2. 外部資金獲得、研究シーズの紹介・活動(60 頁)

- (1)道内企業と道内大学、高専、公設試の共同研究発掘フェア
- (2)JST「新技術説明会」(1 件)
- (3)企業訪問(97 件)

3. 人材育成(60 頁)

- (1)平成 28 年度第 1 回室蘭工業大学地域コア運営委員会
- (2)胆振次世代経営革新塾(8 回)
- (3)出前講座(1 回)

4. セミナー、研修会、交流会の開催(62 頁)

- (1)CRD セミナー(1 件)
- (2)室工大&機械工業会コラボによる高度技術研修(2016 ものづくり技術セミナー)
- (3)第 28 回フロンティア技術検討会
- (4)第 9 回道内電気計装エンジニアリング研修会
- (5)合同研究会(2 件)

5. 他機関との連携活動(64 頁)

- (1)HiNT 協議会・連絡会・セミナー(12 回)
- (2)産学交流プラザ「創造」(10 回)
- (3)蘭参会(名刺交換会)(4 回)
- (4)北海道立総合研究機構との包括連携に関する会議
- (5)コラボ産学官(総会、講演会)(2 回)
- (6)コーディネーター会議および室蘭テクノセンター理事会(9 回)
- (7)日本機械学会北海道支部シニア会(2 回)
- (8)その他会議、連絡会(1 回)

6. 各種展示会への出展(67 頁)

- (1)北洋銀行ものづくりテクノフェア 2016
- (2)ビジネスEXPO「第29回北海道 技術・ビジネス交流会」
- (3)イノベーション・ジャパン 2016(～大学見本市&ビジネスマッチング～)
- (4)メッセナゴヤ 2016

7. 他機関主催事業への参加(ニーズ・情報の収集活動)(69 頁)

- (1)産学官金交流会

8. 広報(69 頁)

- (1)定期刊行物(2 件)
平成 27 年度 センターニュース No, 29(平成 28 年 6 月発行)
地域共同研究開発センター 研究報告 No, 27(平成 29 年 3 月発行)

1. 研究の活性化、共同研究の推進(6件)

(1) 平成28年度プレ共同研究(審査)(6件)

日 時：平成28年9月8日(木)・9月12日(月)・9月13日(火)

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

①水素社会構築のための新規脱水素触の開発

くらし環境系領域 准教授 神田康晴

②新しい作用機序を有する有機ゲルマニウム抗インフルエンザ薬候補物質の創製研究

くらし環境系領域 教授 中野博人

③多種類 MoCap データに対応した身体動作データベースの構築

しくみ情報系領域 助教 柴田傑

④多合金鋳鋼の切削加工技術の研究開発

もの創造系領域 教授 清水一道

⑤自動車用アルミニウム鋳物の使用環境下径時変化に関する変化

もの創造系領域 准教授 安藤哲也

⑥表面改質処理層における非破壊評価手法の適用基礎研究

環境エネルギーシステム材料研究機構 准教授 朴俊秀

(2) 研究協力会役員会および総会

【議 題】

1. 平成27年度活動・決算報告
2. 平成28年度事業計画(案)、予算(案)等を協議

【特別講演】

講 師：「室蘭工業大学 地(知)の拠点推進室 室長 那須 守」

演 題：「COC+と産学連携の役割」

【情報交換会】

日 時：平成28年7月11日(月) 17:30 ～ 19:00

場 所：中嶋神社 蓬峯殿(室蘭市)

参加者：36名

(3) (株)電制との共同研究会議(6回)

①日 時：平成28年5月11日(水) 16:00 ～ 17:00

②日 時：平成28年7月19日(火) 15:00 ～ 16:00

③日 時：平成28年9月27日(火) 15:00 ～ 16:00

④日 時：平成28年11月29日(火) 15:00 ～ 16:00

⑤日 時：平成29年1月23日(月) 15:30 ～ 17:00

⑥日 時：平成29年3月28日(火) 15:00 ～ 16:30

参加者：6 ～ 9名(相津先生 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) 東亜製薬(株)との共同研究会議

【議 題】

平成 27 年度 CRD プレ共同研究

乳牛乳房炎対応抗生物質の表面弾性波デバイスによる検出手法の開発

日 時：平成 28 年 6 月 3 日(金)

場 所：福田研究室

参加者：4 名

(5) (株)メイセイエンジニアリングとの共同研究会議(35 回)

- ①日 時：平成 28 年 5 月 17 日(火) 11:00 ～ 12:00
- ②日 時：平成 28 年 5 月 25 日(水) 11:00 ～ 12:00
- ③日 時：平成 28 年 6 月 1 日(水) 11:00 ～ 12:00
- ④日 時：平成 28 年 6 月 16 日(木) 11:00 ～ 12:00
- ⑤日 時：平成 28 年 6 月 21 日(火) 13:00 ～ 15:00
- ⑥日 時：平成 28 年 6 月 29 日(水) 11:00 ～ 12:00
- ⑦日 時：平成 28 年 7 月 6 日(水) 11:00 ～ 12:00
- ⑧日 時：平成 28 年 7 月 13 日(水) 11:00 ～ 12:00
- ⑨日 時：平成 28 年 7 月 20 日(水) 13:30 ～ 15:00
- ⑩日 時：平成 28 年 7 月 27 日(水) 11:00 ～ 12:00
- ⑪日 時：平成 28 年 8 月 2 日(火) 11:00 ～ 12:00
- ⑫日 時：平成 28 年 8 月 9 日(火) 11:00 ～ 12:00
- ⑬日 時：平成 28 年 8 月 18 日(木) 11:00 ～ 12:00
- ⑭日 時：平成 28 年 9 月 6 日(火) 13:00 ～ 15:00
- ⑮日 時：平成 28 年 9 月 21 日(水) 11:00 ～ 12:00
- ⑯日 時：平成 28 年 9 月 28 日(水) 11:00 ～ 12:00
- ⑰日 時：平成 28 年 10 月 6 日(木) 11:00 ～ 12:00
- ⑱日 時：平成 28 年 10 月 12 日(水) 11:00 ～ 12:00
- ⑲日 時：平成 28 年 10 月 25 日(火) 11:30 ～ 12:00
- ⑳日 時：平成 28 年 11 月 2 日(水) 13:00 ～ 14:30
- ㉑日 時：平成 28 年 11 月 15 日(火) 11:00 ～ 12:00
- ㉒日 時：平成 28 年 11 月 22 日(火) 11:00 ～ 12:00
- ㉓日 時：平成 28 年 11 月 29 日(火) 11:00 ～ 12:00
- ㉔日 時：平成 28 年 12 月 6 日(火) 11:00 ～ 12:00
- ㉕日 時：平成 28 年 12 月 13 日(火) 11:00 ～ 12:00
- ㉖日 時：平成 28 年 12 月 20 日(火) 11:00 ～ 12:00
- ㉗日 時：平成 28 年 12 月 27 日(火) 11:00 ～ 12:00
- ㉘日 時：平成 29 年 1 月 13 日(金) 13:30 ～ 15:00
- ㉙日 時：平成 29 年 1 月 17 日(火) 11:00 ～ 12:00
- ㊀日 時：平成 29 年 1 月 23 日(月) 11:00 ～ 12:00
- ㊁日 時：平成 29 年 1 月 31 日(火) 11:00 ～ 12:00
- ㊂日 時：平成 29 年 2 月 7 日(火) 11:00 ～ 12:00
- ㊃日 時：平成 29 年 2 月 21 日(火) 14:00 ～ 15:30
- ㊄日 時：平成 29 年 2 月 28 日(火) 11:00 ～ 12:00
- ㊅日 時：平成 29 年 3 月 8 日(水) 11:00 ～ 12:00

場 所：室蘭工業大学 V508

参加者：2 ～ 3 名(板倉先生 他)

(6) 千代田商事(株)との共同研究会議(1 回)

- ①日 時：平成 28 年 5 月 30 日(月) 9:00 ～ 12:00

場 所：千代田商事(株)大分製鉄所

参加者：7 ～ 8 名

(7) 第 27 回国立大学法人 共同研究センター長等会議

日 時：平成 28 年 9 月 29 日(木) 13:30 ～ 20:00

場 所：福井県国際交流会館

参加者：200 名

(8) 技術相談(30 件)

2. 外部資金獲得、研究シーズの紹介・活動(2 件)

(1) 道内企業と道内大学、高専、公設試の共同研究発掘フェア

(北洋銀行ものづくりテクノフェア 2016 と同時開催)

～北海道を自動走行の実証試験の開発拠点に～

「ものづくり若者の道内定着に向けた COC+事業の活動と参画への提案」

地(知)の拠点推進室室長 特任教授 那須 守

主 催：北見工業大学、はこだて未来大学、北海道科学大学、北海道科学大学短期大学

北海道大学、室蘭工業大学、旭川工業高等専門学校、函館工業高等専門学校、北海道

日 時：平成 28 年 7 月 21 日(木) 13:00 ～ 17:00

後 援：(株)北洋銀行、北大リサーチ&ビジネスパーク推進協議会

場 所：アクセスサッポロ(札幌市)

参加者：約 4,800 名 参加企業：220 社・団体

(2) JST「新技術説明会」(1 件)

①「抗認知症効果が期待されるアミロイドβ凝集阻害物質の微量探索システム」

室蘭工業大学 大学院工学研究科 暮らし環境系領域 准教授 徳樂 清孝

日 時：平成 29 年 1 月 26 日(木) 10:00 ～ 15:00

来場者：141 名

(3) 企業訪問(97 件)

3. 人材育成(3 件)

(1) 平成28年度第1回室蘭工業大学地域コア運営委員会

【主催者挨拶】

室蘭工業大学 学長 空閑 良壽

【議題】

スーパー連携大学院の現状について

室蘭工業大学 理事(学術担当)・副学長 松田 瑞史

【意見交換】

【講演】

有用微生物の高度利用による循環型社会

形成推進および地域産業の活性化

暮らし環境系領域 教授 チャン ヨン Chol

【情報交換会】

日 時：平成 29 年 3 月 21 日(火) 16:00 ～ 17:30

場 所：室蘭工業大学 本部棟 3 階中会議室

参加者：17 名

(2) 胆振次世代革新塾 ～管理者や実務担当者「自ら」優れた経営感覚を身に着ける～

「強い組織に変える力」(8 回)

受講時間：19:00～21:00(初回のみ30分拡大)

受講会場：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 2F「産学交流室」

主 催：塾 長 西野 義人(株)西野製作所 代表取締役)

連携・協力：法政大学

『ものづくり企業活性化チーム 学・官・金 室蘭』

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
(公財)室蘭テクノセンター : 室蘭信用金庫

①テーマ: 「多様な考え」

法政大学 地域研究センター 兼任講師 中島 ゆき

日 時: 平成 28 年 7 月 21 日(木) 19:00~21:30

参加者: 19 名

②テーマ: 「広い視野」

法政大学 地域研究センター 教授 岡本 義行

日 時: 平成 28 年 8 月 4 日(木) 19:00~21:00

参加者: 22 名

③テーマ: 「学習する組織」

元花王役員/元法政大学 教授 北原 正敏

日 時: 平成 28 年 8 月 25 日(木) 19:00~21:00

参加者: 22 名

④テーマ: 「学習する個人」

法政大学 地域研究センター 教授 石山 恒貴

日 時: 平成 28 年 9 月 15 日(木) 19:00~21:00

参加者: 17 名

⑤テーマ: 「変革」

ファシリテート 兼任講師 中島 ゆき

日 時: 平成 28 年 10 月 6 日(木) 19:00~21:00

参加者: 16 名

⑥テーマ: 「新事業への挑戦と発想力」

室蘭工業大学 CRD 副センター長 清水 一道

日 時: 平成 28 年 10 月 27 日(木) 19:00~21:00

参加者: 18 名

⑦テーマ: 「新事業への挑戦と発想力」

室蘭工業大学 CRD 副センター長 清水 一道

日 時: 平成 28 年 11 月 17 日(木) 19:00~21:00

参加者: 17 名

⑧テーマ: 「総括 個人課題発表」

ファシリテート 兼任講師 中島 ゆき

日 時: 平成 28 年 11 月 30 日(水) 19:00~21:00

参加者: 21 名

(3) 出前講座

講義内容: 基礎編 (土の分類、土の破壊)

設計編 (杭の水平抵抗力: 極限平衡法、弾性支承理論)

くらし環境系領域 准教授 永井 宏

日 時: 平成 28 年 6 月 29 日(水) 13:00~16:00

場 所: 榊郷葉 石狩工場

参加者: 5 名

4. セミナー、研修会、交流会の開催(5件)

(1) CRD セミナー(1件)

テーマ：「産学官連携業務における材料分析装置の適用事例」

もの創造系領域 准教授 柴田 義光

主催：産学交流プラザ「創造」

日時：平成29年3月21日(火) 16:00～17:00

場所：かめや(室蘭市)

参加者：22名

(2) 室工大&機械工業会コラボによる高度技術研修(2016ものづくり技術セミナー)

テーマ：精密加工技術および周辺技術の最新動向とその応用

テーマⅠ：ウォータージェットによる加工技術

室蘭工業大学 もの創造系領域機械航空創造系学科 清水 一道

テーマⅡ：精密加工機械の最新動向と活用

ヤマザキマザック(株) 営業本部営業統括部マーケティング企画課 主幹 中島 昭彦

テーマⅢ：精密加工を支えるバリ取り自動化技術の最新動向

(株)ジーベックテクノロジー 技術担当マネージャー 豊里 太祐

テーマⅣ：5軸マシニングを有効に使うCAM技術と活用事例

北海道職業能力開発大学校 生産機械システム技術科 職業能力開発教授 江守 真

主催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター

(一社)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、(公社)精密工学会 北海道支部、(一社)日本機械学会 北海道支部、(公社)日本鋳造工学会 北海道支部、(地独)北海道立総合研究機構 工業試験場、室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 研究協力会、異業種交流プラザ「創造」

日時：平成28年12月15日(水) 13:00～16:30

場所：京王プラザホテル札幌 2階 ローズ 札幌市中央区北5西7-2-1(札幌市)

参加者：72名

(3) 第28回フロンティア技術検討会

総合テーマ：「ものづくりルネッサンス」

テーマⅠ：「地域創生とイノベーション創出 ～人材育成と地域企業支援～」

室蘭工業大学 もの創造系領域 機械航空創造系学科 機械システム工学コース

教授 清水 一道

テーマⅡ：「東京 墨田 下町工場の挑戦」

(株)浜野製作所 代表取締役 浜野 慶一

【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

(公財)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28年10月28日(金) 15:00～19:15

場 所：中嶋神社 蓬峯殿(室蘭市)
参加者：132名

(4) 第9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(10:45～12:00)

テーマⅠ：「非鉄金属材料の腐食－銅とアルミを中心に－」

もの創造系領域 准教授 境 昌宏

メンテナンスに関するご紹介(13:00～14:30)

テーマⅡ：「設備診断技術のご紹介」

日鉄住金テックスエンジ(株) 村山 恒実

テーマⅢ：「電動機診断技術のご紹介」(14:45～16:15)

北都電機株 岡林 清

工藤 也斗志

【討 議】

日常的な技術課題(16:15～17:15)

テーマⅠ：「日常メンテナンスに関して」

テーマⅡ：「老朽化設備の更新について討議」

日 時：平成28年8月25日(木) 10:45～17:30

場 所：日鉄住金テックスエンジ(株) 室蘭支店(室蘭市)

参加者：32名

(5) 合同研究会(2件)

①第1回「北のものづくり総合技術交流会」「金型技術研究会」

「日本機械学会北海道支部 道南地区シニア会」合同研究会

【工場見学】

馬場機械製作所・西野製作所

【講 演】

「日本刀製作工程の科学的合理性」

日本製鋼所室蘭製作所 瑞泉鍛刀所 刀匠・博士(工学) 佐々木 胤成

日 時：平成28年7月8日(金)14:00～17:30

場 所：地域共同研究開発センター

参加者：39名

②第2回「北のものづくり総合技術交流会」「金型技術研究会」合同研究会

【工場見学】

(株)松本鐵工所

【講 演】

「塑性加工を理解するための基礎知識」

室蘭工業大学 教授 寺本 隆司

日 時：平成29年3月24日(金) 13:30～17:15

場 所：苫小牧テクノセンター

参加者：28名

5. 他機関との連携活動(8件)

(1)HiNT 協議会・連絡会・セミナー(13回)

①主 催：HiNT連絡会・セミナー

テーマ：「官能検査自動化・システム化と標準化

ー めっき光沢ムラ・色ムラの検査装置開発と関連のトピックス紹介 ー」

野中一洋（ノナカ カズヒロ）エレクトロニクス・製造領域研究戦略部 IC

（国立研究開発法人産業技術総合研究所）

日 時：平成 28 年 4 月 19 日(火) 15:30 ～ 16:55

参加者：18 名

②主 催：HiNT 連絡会

日 時：平成 28 年 5 月 18 日(水) 15:30 ～ 16:00

参加者：15 名

③主 催：HiNT 連絡会

日 時：平成 28 年 6 月 23 日(木) 15:30 ～ 16:30

参加者：12 名

④主 催：HiNT 連絡会

日 時：平成 28 年 7 月 27 日(水) 15:30 ～ 16:30

参加者：11 名

⑤主 催：HiNT 連絡会

日 時：平成 28 年 9 月 14 日(水) 15:30 ～ 17:00

参加者：11 名

⑥主 催：HiNT 連絡会

日 時：平成 28 年 10 月 19 日(水) 15:30 ～ 16:30

参加者：16 名

⑦主 催：HiNT 連絡会

日 時：平成 28 年 11 月 16 日(水) 15:30 ～ 16:30

参加者：12 名

⑧主 催：HiNT 連絡会

日 時：平成 28 年 12 月 21 日(水) 15:30 ～ 16:30

参加者：12 名

⑨主 催：HiNT 連絡会

日 時：平成 29 年 1 月 18 日(水) 15:30 ～ 16:30

参加者：14 名

⑩主 催：HiNT 連絡会

日 時：平成 28 年 2 月 21 日(火) 15:30 ～ 16:30

参加者：14 名

⑪主 催：HiNT 連絡会

日 時：平成 29 年 3 月 15 日(水) 15:30 ～ 16:30

参加者：13 名

⑫主 催：HiNT 運営協議会

日 時：平成 29 年 3 月 29 日(水) 10:00 ～ 12:00

参加者：25 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」(10回)

①定例会

「製造現場の改善による成長力強化事業
ものづくり改善インストラクター改善活動について」

(株)檜崎製作所 室蘭工場長 山崎 善弘

開催日：平成28年4月19日(火)

場 所：かめや

参加者：31名

②第1回役員会

開催日：平成28年4月26日(火)

場 所：(公財)室蘭テクノセンター

参加者：12名

③総会・交流会

開催日：平成28年5月17日(火)

場 所：中嶋神社 蓬峯殿(室蘭市)

参加者：総会42名・交流会41名

④第2回役員会

開催日：平成28年8月18日(木)

場 所：(公財)室蘭テクノセンター

参加者：12名

⑤定例会(RICOH ジャパン(株))

開催日：平成28年9月27日(火)

場 所：(公財)室蘭テクノセンター

参加者：16名

⑥第3回役員会

開催日：平成28年10月24日(月)

場 所：(公財)室蘭テクノセンター

参加者：8名

⑦定例会(他地域企業訪問(岩手県宮古市)視察報告会)

開催日：平成28年11月28日(月)

場 所：かめや

参加者：22名

⑧第4回役員会

開催日：平成29年1月5日(木)

場 所：(公財)室蘭テクノセンター

参加者：7名

⑨第5回役員会

開催日：平成29年3月21日(火)

場 所：(公財)室蘭テクノセンター

参加者：9名

⑩定例会

「産学官連携業務における材料分析装置の適用事例」

CRDセンター 准教授 柴田 義光

開催日：平成29年3月21日(火)

場 所：かめや

参加者：22名

(3) 蘭参会(名刺交換会)(4回)

- ①日 時：平成28年5月24日(火) 18:30～20:30
参加者：95名
- ②日 時：平成28年8月9日(火) 18:30～20:30
参加者：94名
- ③日 時：平成28年11月8日(火) 18:30～20:30
参加者：88名
- ④日 時：平成29年2月7日(火) 18:30～20:30
参加者：110名

場 所：中嶋神社 蓬峯殿(室蘭市)

(4) 北海道立総合研究機構との包括連携に関する会議

①協議会

- 開催日：平成28年7月6日(水)
- 場 所：道総研プラザ(札幌市)
- 参加者：9名

(5) コラボ産学官(総会等、理事会)(2回)

①第8回本部通常総会

- 日 時：平成28年6月17日(金) 13:30～14:30
- 場 所：コラボ産学官 プラザ in Tokyo(朝日信用金庫(東京都台東区))
- 参加者：36名

②第1回幹事会および第1回運営委員会合同会議・意見交換会

- 日 時：平成29年3月28日(火) 15:00～19:00
- 場 所：コラボ産学官 プラザ in Tokyo(朝日信用金庫(東京都台東区))
- 参加者：15名

(6) コーディネーター会議(1回/1ヶ月)(9回)および室蘭テクノセンター理事会

- ①日 時：平成28年5月17日(火) 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
- ②日 時：平成28年6月21日(火) 15:00～16:00
場 所：(公財)室蘭テクノセンター
- ③日 時：平成28年7月27日(水) 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
- ④日 時：平成28年8月23日(火) 13:00～14:00
場 所：(公財)室蘭テクノセンター
- ⑤日 時：平成28年9月28日(水) 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
- ⑥日 時：平成28年10月26日(水) 16:00～17:00
場 所：(公財)室蘭テクノセンター
- ⑦日 時：平成28年12月14日(水) 16:00～17:00
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
- ⑧日 時：平成29年1月23日(月) 11:00～12:00
場 所：(公財)室蘭テクノセンター
- ⑨日 時：平成29年3月22日(水) 11:00～12:00
場 所：(公財)室蘭テクノセンター

参加者：7～10名

(7) 日本機械学会北海道支部シニア会

I. 「科学と技術に関する公開講座」

(1) 「日本刀を科学する」

副題：日本刀の機能美と科学的合理性

講師：臺丸谷政志名誉教授

日時：平成28年7月23日（土）15時30分～17時

場所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター

参加者：32名

(2) 「やさしい自動制御のはなし」

副題：制御原理からコンピュータによる制御まで

講師：疋田弘光名誉教授

日時：平成28年11月5日（土）13時30分～15時

場所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター

参加者：32名

II. 「企業見学会・交流会」

(1) 野村興業(株)イトムカ鉱業所

日時：平成28年7月12日(火)

場所：塩別

参加者：7名

(2) 北海道エア・ウォーター、日本製鋼所

日時：平成28年10月12日(水)

場所：室蘭市

参加者：9名

後援：室蘭市教育委員会

協賛：室蘭テクノセンター

(8) その他会議、連絡会(1回)

①第二回室蘭創業支援ネットワーク会議

日時：平成28年7月15日(金) 17:00～

場所：ホテルサンルート室蘭

参加者：22名

6. 各種展示会への出展(5件)

(1) 北洋銀行ものづくりテクノフェア2016

パネル展示等(本学関係分)

「抗認知症物質の微量探索システム」

くらし環境系領域 准教授 徳楽 清孝

「摩耗寿命を向上させた新規耐摩耗材料の研究開発」

機械航空創造系学科 教授 清水 一道

「石炭の地下ガス化(UCG)」

環境科学・防災研究センター 教授 板倉 賢一

「魔法の粉【貝殻ナノパウダー】」

くらし環境系領域 准教授 山中 真也

「環境調査用自立走行車両」

もの創造系領域ロボティクスユニット 教授 花島 直彦

「理系女子応援プロジェクト ～理系へ行こう、そして現場へ～」

室蘭工業大学

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、(社)北海道機械工業会

北海道経済連合会、(社)北海道商工会議所連合会、(社)北海道中小企業家同友会

札幌商工会議所、(独)中小企業基盤整備機構北海道支部

(独)産業技術総合研究所北海道センター、(地独)北海道立総合研究機構
 (社)北海道発明協会、(公財)北海道中小企業総合支援センター
 (公財)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、(財)省エネルギーセンター北海道支部、(公財)北海道環境財団
 (財)さっぽろ産業振興財団、EMS-J P北海道、(株)北海道二十一世紀総合研究所
 (独)土木研究所寒地土木研究所、旭川商工会議所、国立研究開発法人 土木研究所、
 (公財)函館地域産業振興財団、(公財)大田区産業振興協会

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、東京農業大学 オホーツク実学センター、
 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：(株)青森銀行、日本政策金融公庫 札幌支店、札幌信用金庫、空知信用金庫、
 苫小牧信用金庫、帯広信用金庫、旭川信用金庫

日 時：平成 28 年 7 月 21 日(木) 10:00 ～ 17:00
 場 所：アクセスサッポロ(札幌市)
 参加者：約 4,800 名 参加企業：220 社・団体

(2) ビジネスEXPO「第30回北海道 技術・ビジネス交流会」

パネル展示等 (本学関係分)

「抗認知症物質の微量探索システム」

くらし環境系領域 准教授 徳楽 清孝

「摩耗寿命を向上させた新規耐摩耗材料の研究開発」

機械航空創造系学科 教授 清水 一道

「石炭の地下ガス化 (UCG)」

環境科学・防災研究センター 教授 板倉 賢一

「魔法の粉【貝殻ナノパウダー】」

くらし環境系領域 准教授 山中 真也

「環境調査用自立走行車両」

もの創造系領域ロボティクスユニット 教授 花島 直彦

「理系女子応援プロジェクト ～理系へ行こう、そして現場へ～」

室蘭工業大学

主 催：北海道 技術・ビジネス交流会 実行委員会

日 時：平成 28 年 11 月 10 日(木) 10:00 ～ 17:30、11 日(金) 9:30 ～ 17:00

場 所：アクセスサッポロ(札幌市)

参加者：20,665 名

(3) イノベーション・ジャパン 2016 (～大学見本市&ビジネスマッチング～)

パネル展示等 (本学関係分)

「ホウ酸アルミナノウイスキーの合成法 (腐食合成法)」

もの創造系領域 講師 長船康裕

「大きな磁気光学効果を示す液体とその光デバイス応用」

くらし環境系領域 准教授 飯森俊文

日 時：平成 28 年 8 月 25 日(木) 10:00～17:30、26 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：25 日(11,284 名)、26 日(9,292 名) 合計 20,576 名

(4) メッセナゴヤ 2016

パネル展示等 (本学関係分)

「摩耗寿命を向上させた新規耐摩耗材料の研究開発」

機械航空創造系学科 教授 清水 一道

「抗認知症物質の微量探索システム」

くらし環境系領域 准教授 徳樂 清孝

日 時 : 平成 28 年 10 月 26 日 (水) 10:00~17:30 ~ 29 日 (土) 10:00~17:00

場 所 : ポートメッセナゴヤ (名古屋市港区金城ふ頭二丁目 2 番地)

参加者 : 26 日 (15,804 名)、27 日 17,765 名)、28 日 (18,504 名)、29 日 12,719 名) 合計 64,792 名

(5) 展示会出展助成事業 (「展示会出展助成事業」) (1 件)

出展研究シーズ名 : ホウ酸アルミナノウィスカーの合成法 (腐食合成法)

申請教員 : もの創造系領域 講師 長船康裕

出展研究シーズ名 : 大きな磁気光学効果を示す液体とその光デバイス応用

申請教員 : くらし環境系領域 准教授 飯森俊文

展示会名 : イノベーション・ジャパン 2016 - 大学見本市

日 時 : 平成 28 年 8 月 25 日 (木) ~ 26 日 (金)

場 所 : 東京ビッグサイト

参加者 : 20,576 名 (8/25~8/26)

7. 他機関主催事業への参加 (ニーズ・情報の収集活動) (2 件)

(1) 産学官金交流会

① 苫小牧地域産学官連携会議

日 時 : 平成 28 年 10 月 3 日 (月) 15:30 ~ 18:00

場 所 : 苫小牧経済センター

参加者 : 20 名

② 共同研究を通じた地域支援

日 時 平成 29 年 3 月 10 日 (金) 15:00 ~ 17:00

場 所 苫小牧経済センター 6 F 大ホール

講 師 室蘭工業大学 くらし環境系領域・物質化学ユニット 教授 大平 勇一
苫小牧工業高等専門学校創造工学科 助教 藤田 彩華

8. 広報 (1 件)

(1) 定期刊行物 (平成 28 年 6 月・平成 29 年 3 月) (2 件)

① 研究報告 No.27

② センターニュース No.29

**国立大学法人 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

T E L (0143)46-5860

F A X (0143)46-5879