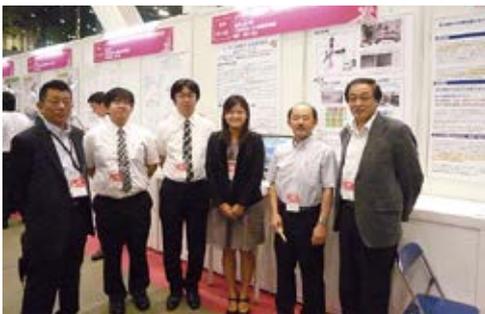


室蘭工業大学

地域共同研究開発センター 研究報告

No. 23



Feb. 2013



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

目次

【平成 23 年度 共同研究プロジェクト成果】

- (1) 連続繊維 (FRP) 板を用いた RC 柱部材の水中耐震補強工法の開発 1
三上 浩, 岸 徳光, 栗橋 祐介, 小室 雅人
- (2) シリカスケールの形成メカニズムに関する研究 8
境 昌宏, 一木 智康
- (3) 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 12
川瀬 良司, 小室 雅人, 岸 徳光, 栗橋 祐介
- (4) 自動車用部品の肉厚変動部のレアアースレス薄肉球状黒鉛鋳鉄の良品条件の確立および
品質確認システムの構築 19
三浦 孝之, 清水 一道

【平成 23 年度 プレ共同研究成果】

- (1) 高輝度 LED を用いた光治療器の開発 27
相津 佳永, 三浦 淳, 湯浅 友典, 須貝 保徳
- (2) 可搬型擬似夜明け療法器の開発と医学的検証 31
三浦 淳, 湯浅 友典, 相津 佳永, 千葉 武雄
- (3) 医療系廃棄物の水熱反応分解処理工程での放電脱臭技術開発 33
佐藤 孝紀, 石森 鋼男
- (4) ペポカボチャに含まれる栄養成分の評価および新規活性成分の探索研究 36
上井 幸司
- (5) ステンレス・フレキシブルチューブの健全性評価 40
藤木 裕行, 臺丸谷 政志, 清水 茂夫

【フロンティア技術検討会】

【講演録】

- 講演 1 : 「企業のリスクマネジメントについて」 48
東京海上日動リスクコンサルティング(株) 経営企画室 主席研究員 指田 朝久
- 講演 2 : 「中小企業の事業継続計画 (BCP) について」 55
東京海上日動リスクコンサルティング(株) ビジネスリスク事業部
事業継続グループ 主任研究員 川原場 正義
- 講演 3 : 「事故からの克服とその後のリスク管理」 61
(株)西野製作所 代表取締役社長 西野 義人

【平成 23 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 64

【平成 23 年度 事業活動】

- 研究協力会, 事業推進検討会, 講演会, CRD セミナー, 展示会出展等 68

【表紙写真】

- 上左 : 平成 22 年度 プレ共同研究成果報告会
- 中左 : イベント・ジャパン 2011 大学見本市
- 下左 : 平成 23 年度高度技術研修 (函館会場)

- 上右 : 第 2 回 MOT(技術経営)実践講座
- 中右 : フロンティア技術検討会
- 下右 : 平成 23 年度 第 6 回 CRD セミナー

【平成 23 年度 共同研究プロジェクト成果】

連続繊維 (FRP) 板を用いた RC 柱部材の 水中耐震補強工法の開発

三上 浩*¹, 岸 徳光*², 栗橋 祐介*², 小室 雅人*²

1 はじめに

近年, 既設鉄筋コンクリート (RC) 橋脚を対象に, 耐震設計法の改定に伴う補強工事が盛んに行われている. また, その補強工法の 1 つとして連続繊維シート (以後, FRP シート) 接着工法が数多く採用されている. 一方, 耐震補強を必要とする構造物には当然のことながら河川橋脚も含まれている. しかしながら, 河川橋脚の場合には, 橋脚基部周辺の仮締切工事を行い, 施工部を乾燥状態にするのが一般的である. そのため, 陸上での補強工事と比較して膨大なコストが必要となることから, 河川橋脚の補強工事はほとんど行われていないのが現状である.

従って, 水中での施工が可能な FRP シート接着工法を開発することにより, 河川橋脚の補強工事費用の大幅な削減が可能となり, その補強工事の推進が期待できるものと考えられる. 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た.

これまで, 提案の水中接着補強工法の補強効果や AFRP 板の付着性状を検討することを目的に, 本工法で曲げ補強した RC 梁の静載荷実験を行っている⁽¹⁾. その結果, 既往の水中接着補強工法では, RC 梁の曲げ耐力を向上可能であるものの, 気中接着の場合に比較して AFRP 板が早期に剥離するため, その補強効果は小さいものとなることを明らかにしている.

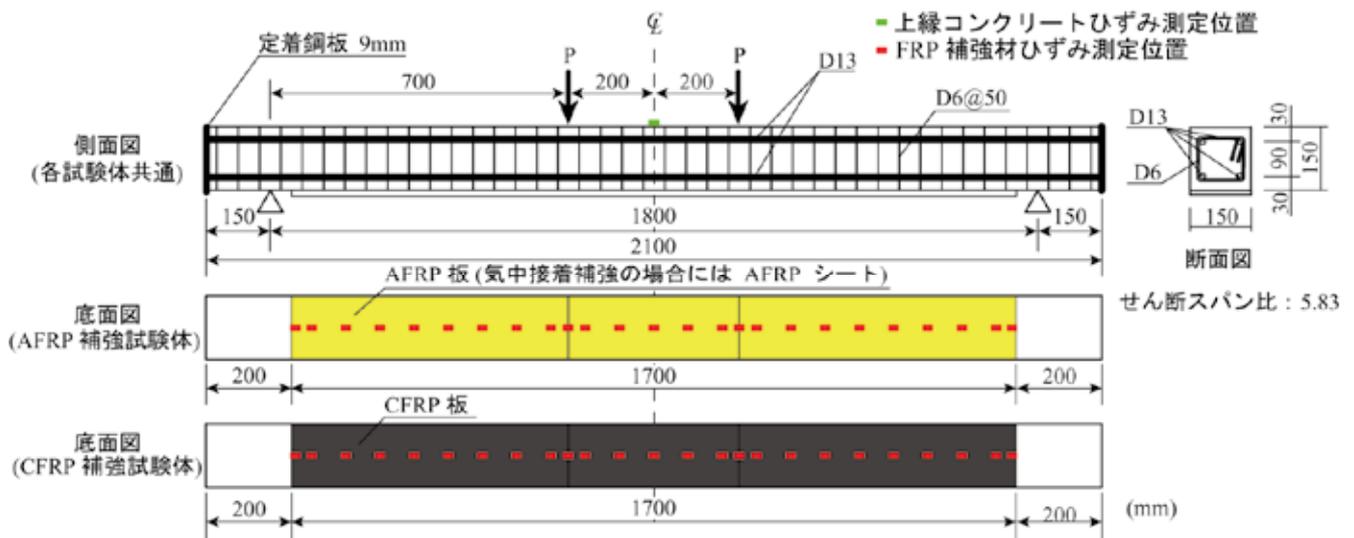
その原因としては, 1) 水中硬化型接着樹脂の伸び率 (終局ひずみ) が 0.77 % と AFRP 板のそれよりも小さいため, AFRP 板ひずみの増大に伴って接着界面の樹脂が損傷することや, 2) 水中接着の場合には, 気中接着の場合と異なりコンクリート面のプライマー処理を施せないため, AFRP 板とコンクリートとの付着性能を十分に向上させることが困難であること, などが考えられる.

ここでは, 上記の原因 1) に着目し提案の水中接着補強工法における FRP 板の付着性能の改善策として, i) 水中硬化型接着樹脂の伸び性能の改善, および ii) 引張軸剛性 $E \cdot t$ (E : 弾性係数, t : FRP 補強材厚) の大きい FRP 補強材の適用による発生ひずみの低減に着目して検討を行うこととした. なお, FRP 補強材の引張軸剛性を大きくするためには, 弾性係数の大きい補強材を用いることや補強量を増加させる方法が考えられるが, ここでは弾性係数の大きい補強材を用いることとした.

このような背景より, 本研究では, 従来よりも補強効果の高い水中接着補強工法を確立することを目的に, 伸び性能の高い水中硬化型接着樹脂および AFRP 板よりも引張軸剛性の大きい炭素繊維板 (以後, CFRP 板) を用いた水中接着曲げ補強 RC 梁に関する静載荷実験を行った. また, 比較のため AFRP シートを気中接着する場合についても検討した.

*1 三井住友建設(株) (技術開発センター主席研究員)

*2 ぐらし環境系領域



図－1 試験体の形状寸法，配筋状況および補強概要

表－1 試験体一覧

試験体名	FRP 補強材の種類	使用樹脂の種類	施工・養生環境
A-A	AFRP 補強材	汎用含浸接着樹脂	気中
W-A-1		水中硬化型接着樹脂 1	水中
W-A-2		水中硬化型接着樹脂 2	
W-C-1	CFRP 補強材	水中硬化型接着樹脂 1	

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。試験体名の内、第1項目は施工・養生環境 (A: 気中, W: 水中), 第2項目は使用したFRP補強材の種類 (A: AFRP補強材, C: CFRP補強材), 第3項目は水中硬化型接着樹脂の種類 (1: 従来の水中硬化型接着樹脂, 2: 伸び性能の高い水中硬化型接着樹脂) を示している。なお、気中接着の場合には、AFRPシートを汎用の含浸接着樹脂を用いて接着している。また、ここで使用した樹脂は水中接着の場合においてFRP板製作時においても使用している。

図－1には、試験体の形状寸法，配筋状況および補強概要を示している。本実験に用いた試験体は、断面寸法 150 × 150 mm，純スパン長 1.8 m の複鉄筋 RC 梁である。上下端鉄筋には SD345D13 を

2本ずつ配置している。スターラップには SD345D6 を用い 50 mm 間隔で配置している。梁の下面には、保証耐力 392 kN/m の AFRP 補強材、もしくは 400 kN/m の CFRP 補強材を接着している。FRP 補強材の幅は 150 mm であり、梁軸方向の補強範囲はスパン中央部から両支点の 50 mm 手前までとしている。

実験時におけるコンクリートの圧縮強度は A-A および W-A-1 試験体の場合は $f_c = 28.2$ MPa, W-A-2 および W-C-1 試験体の場合は $f_c = 29.2$ MPa であり、軸方向鉄筋の降伏強度は $f_y = 395$ MPa であった。表－2には、FRP 補強材の力学的特性値の一覧を示している。表より、AFRP 補強材および CFRP 補強材の保証耐力はほぼ同等であるものの、引張軸剛性は CFRP 補強材が、AFRP 補強材の 3 倍以上大きいことがわかる。

なお、水中接着する場合において、FRP 板は 1 枚の FRP シートを用いて製作した。また、FRP 板には既往の研究結果に基づき接着界面の付着性能向上を目的に粗面処理として砂付き処理を行った。FRP 板の砂付き処理は、板表面に汎用の含浸接着樹脂を塗布し、その上に 5 号珪砂を振り掛けて行った。なお、珪砂の使用量は 250 g/m² 程度である。また、コンクリートの接着界面処理としてはブラスト処理を行った。ブラスト処理は専用のブラストマシンを用いて深さ 1 mm 程度の処理とした。

2.2 水中硬化型接着樹脂の力学的特性及び接着性能

本研究に用いた水中硬化型接着樹脂は、いずれも 2 種混合型のエポキシ系接着樹脂であり、主剤、硬

表－2 FRP 補強材の力学的特性値 (公称値)

FRP 補強材の種類	保証耐力(kN/m)	厚さ (mm)	引張強度 (GPa)	弾性係数 (GPa)	引張軸剛性 (kN/mm)	破断ひずみ (%)
AFRP 補強材	392	0.193	2.06	118	22.8	1.75
CFRP 補強材	400	0.163	2.45	436	71.1	0.56

表－3 水中硬化型接着樹脂の力学的特性値(公称値)

接着樹脂の種類	圧縮強度 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	伸び率 (%)
水中硬化型接着樹脂 1	44.4	22.5	9.3	0.77
水中硬化型接着樹脂 2	35.0	17.1	6.1	1.20

化剤ともにパテ状である。表－3には、水中硬化型接着樹脂の力学的特性値の一覧を示している。また、水中硬化型接着樹脂の接着性能は、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」⁽²⁾における「連続繊維シートとコンクリートの接着試験方法(案)」に準拠して評価した。

その結果、試験は母材コンクリートの引張破壊で終了し、破壊時の強度の平均値は水中硬化型接着樹脂 1 および 2 の場合でそれぞれ 2.6 および 3.1 MPa であった。これらの値は、既設コンクリートの補修・補強用接着材料に関する一般的な照査値 (1.5 MPa) を上回っている。従って、本実験に用いた水中硬化型接着樹脂 1, 2 は接着材料としての性能を満足しているものと言える。

2. 3 RC 梁の水中接着補強方法および実験方法

RC 梁の水中接着補強は、大型の水槽を用いて RC 梁を水没させた状態で行った。

水中接着補強における施工手順は以下の通りである。

- 1) 水中硬化型接着樹脂を混合し、厚さ 4 mm 程度に成形する。
- 2) 気中で FRP 板を所定の位置に配置し、その上に成形した接着樹脂を敷き並べて一体化させる。
- 3) 水槽内に設置された RC 梁の接着面に 2) を配置し圧着する。
- 4) 圧着した状態で 5 日間程度水中養生する。

なお、圧着は、専用の圧着装置を用いて、接着樹脂の厚さが 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。本実験の測定項目は、荷重、スパン中央点変位 (以後、変位) および FRP 補強材各点の軸方向ひずみである。また、実験時には、RC 梁のひび割れやシートの剥離状況を連続的に撮影し、実験終了後には、RC 梁のひび割れを撮影した。

3 実験結果と考察

3. 1 荷重－変位関係

図－2には、各試験体の荷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。なお、計算では FRP 補強材とコンクリートの完全付着を仮定している。また、水中硬化型接着樹脂の厚さや力学的特性は考慮していない。表－4には参考のために、降伏時および終局時における各耐力の実験結果および計算結果を一覧にして示している。なお、実験値の降伏荷重は、荷重－変位関係の剛性勾配変化点の荷重として評価している。

A-A 試験体の実験結果は、計算終局時まで計算結果とよく対応しており、また計算耐力、計算終局変位を大きく上回った時点で AFRP シートの破断により終局に至っている。実験では、計算耐力を 7 kN 程度上回る荷重レベルで上縁コンクリートが圧壊し、その後 AFRP シートの部分剥離を生じるものの、最終的にはシート破断により終局に至った。

W-A-1/2 試験体の実験結果は、ともに計算終局変位時まで計算結果とよく対応している。ただし、上縁コンクリートの圧壊は計算終局変位時近傍で発生しているものの、気中接着の場合よりも小さな荷重および変位レベルで発生している。また、上縁コンクリートの圧壊直後に AFRP 板の部分剥離が顕在化し、変位の増大に伴って剥離領域が拡大して最終的には全面剥離に至った。

W-C-1 試験体の実験結果は、計算終局変位時まで計算結果とよく対応している。その後、計算結果を 5 kN 程度上回る荷重レベルで CFRP 板の破断により終局に至っている。

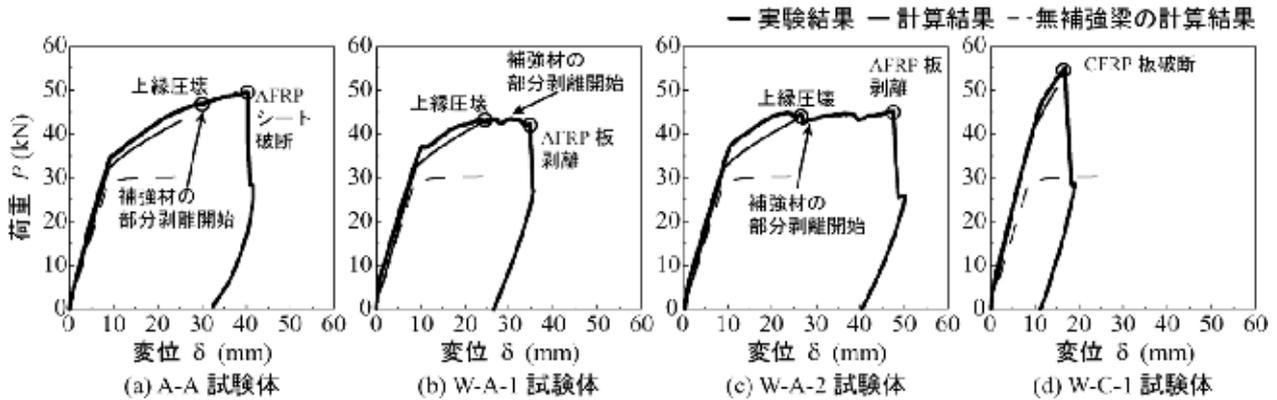


図-2 各試験体における荷重-変位関係の実験結果と計算結果の比較

表-4 実験結果および計算結果の一覧

試験体名	降伏荷重			最大荷重			実験結果の破壊性状
	計算値 P_{yc} (kN)	実験値 P_{ye} (kN)	荷重比 P_{ye}/P_{yc}	計算値 P_{uc} (kN)	実験値 P_{ue} (kN)	荷重比 P_{ue}/P_{uc}	
A-A	32.2	35.2	1.09	42.9	49.6	1.16	上縁圧壊後破断
W-A-1		37.2	1.16		43.6	1.02	
W-A-2		37.7	1.17		43.4	45.2	
W-C-1	39.6	47.8	1.21	50.5	55.2	1.09	破断

図-3には、AFRP 補強材を用いて気中もしくは水中接着した試験体の荷重-変位関係の実験結果を比較して示している。図より、気中接着した A-A 試験体の場合が水中接着した W-A-1/2 試験体の場合に比較して耐荷性能に優れていることがわかる。また、水中接着した試験体の結果を比較すると、W-A-1 試験体よりも W-A-2 試験体の方が最大荷重が大きいことがわかる。

なお、両試験体ともに主鉄筋降伏時に剛性勾配が大きく低下し、その後さらに勾配が低下している(図中、矢印)。これは、シートの部分剥離が発生していることを示しているものと考えられる。この剛性勾配の低下は、W-A-2 試験体の方が W-A-1 試験体よりも若干大きな荷重および変位で発生していることより、W-A-2 試験体の方が AFRP 板とコンクリート面との付着性能が高いものと判断される。

従って、水中硬化型接着樹脂の伸び性能を改善することにより、水中接着時における AFRP 板の付着性能を改善可能であることが明らかになった。

3. 2 補強材の軸方向ひずみ分布性状

図-4には、計算主鉄筋降伏時、中間変位時

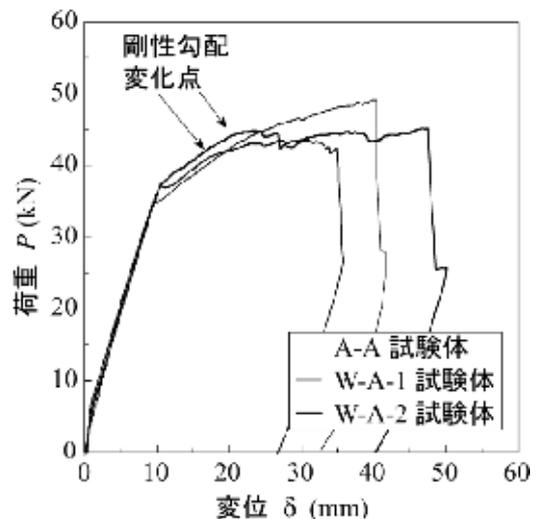


図-3 AFRP 補強 RC 梁に関する荷重-変位関係の比較

および計算終局変位時における FRP 補強材の軸方向ひずみ分布性状の実験結果を計算結果と比較して示している。ここで、中間変位とは、計算主鉄筋降伏時と計算終局変位時の中間の変位である。また、計算結果は FRP 補強材とコンクリートの完全付着を仮定して算出した断面分割法の結果に基づいて算出したものである。

図より、いずれの試験体においても実験結果は計

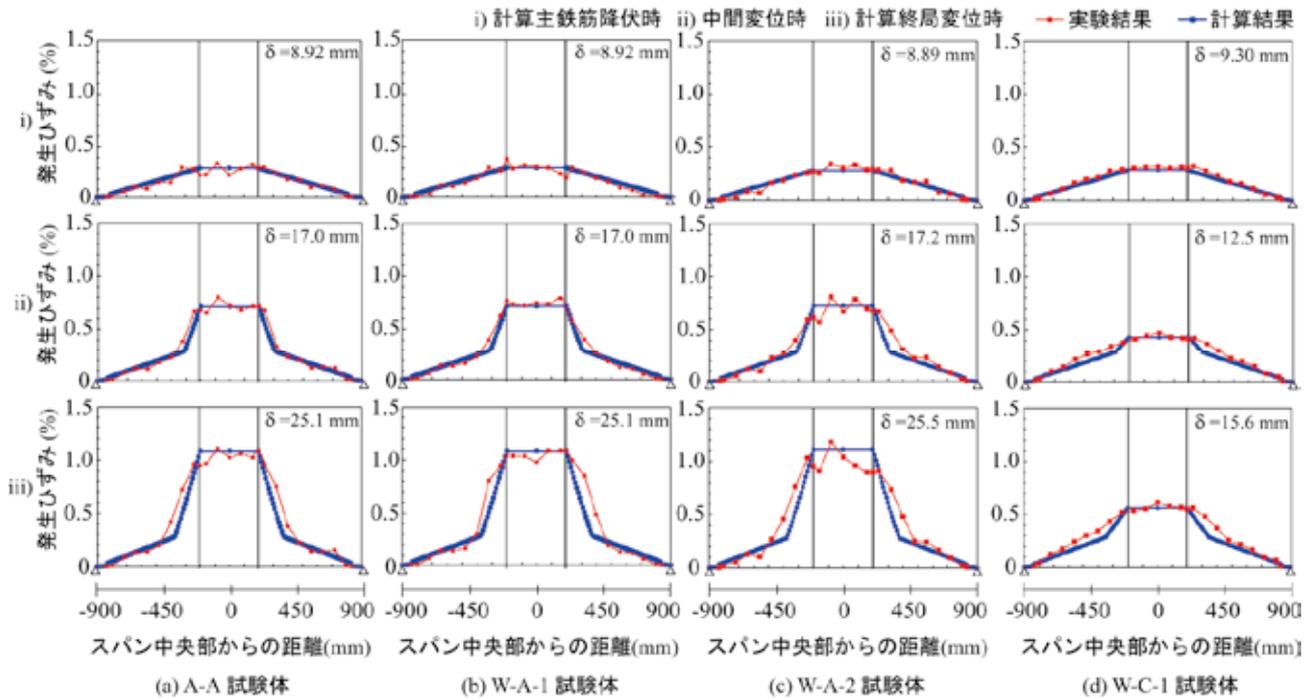


図-4 FRP 補強材の軸方向ひずみ分布性状に関する実験結果および計算結果の比較

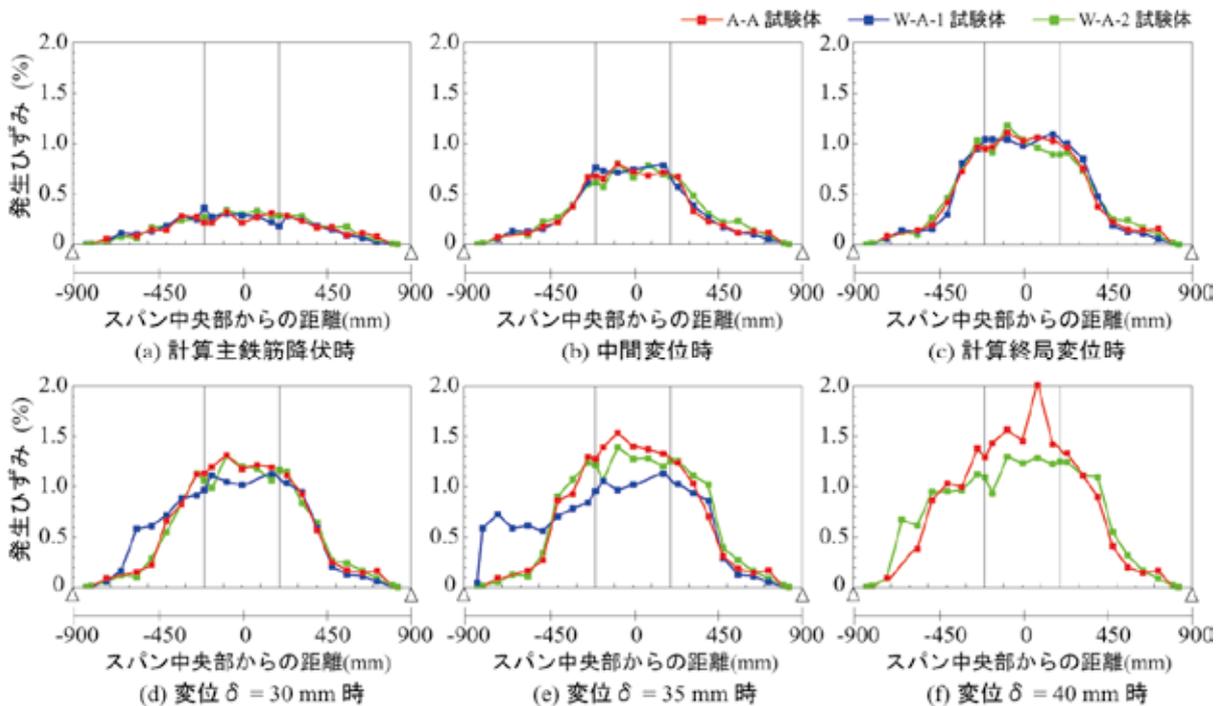


図-5 AFRP 補強材の軸方向ひずみ分布性状に関する実験結果の各変位時の比較

算結果とほぼ対応していることがわかる。従って、FRP 補強材とコンクリートとの付着は計算終局変位時までは確保されているものと判断される。特に、W-C-1 試験体の場合には、CFRP 補強材の引張軸剛性が大きいため、発生ひずみが他の試験体の場合よりも小さくかつ等曲げ区間から支点側に緩やかに低下している。従って、部分剥離等の変状もほとんど

なく完全付着に極めて近い状態にあるものと考えられる。

図-5には、AFRP 補強材を用いて気中および水中接着した試験体を対象に AFRP 補強材の軸方向ひずみ分布の実験結果を比較して示している。ここでは、主鉄筋降伏時、中間変位時、計算終局変位時、および変位 $\delta = 30, 35, 40$ mm 時の結果に着目して

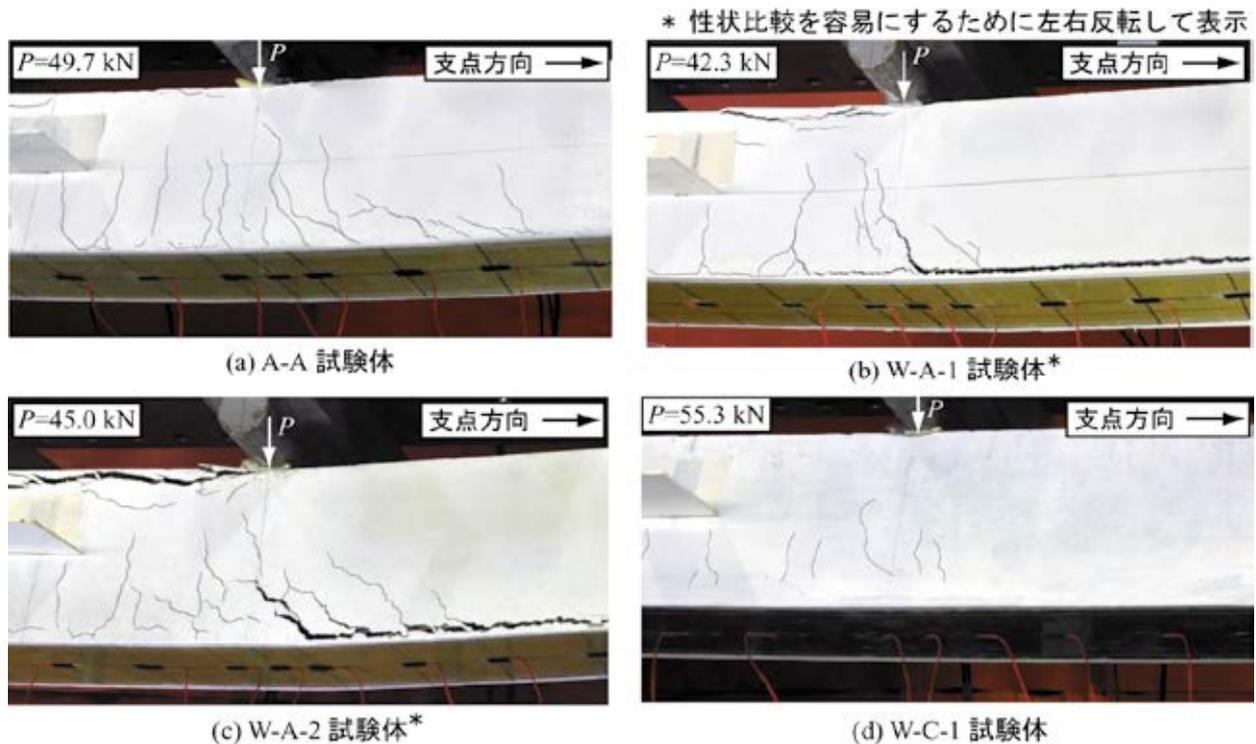


写真-1 各試験体の補強材剥離および破断直前のひび割れ性状

示している。図より、計算終局時まではいずれの試験体もほぼ同様の分布性状を示していることがわかる。しかしながら、 $\delta = 30, 35 \text{ mm}$ 時には、W-A-1 試験体の等曲げ区間におけるひずみが低下するとともに左側等せん断力区間における大きなひずみの分布範囲が支点側に徐々に拡大していることがわかる。これは、W-A-1 試験体が最も早期にシートの剥離を生じたことを示している。また、 $\delta = 35, 40 \text{ mm}$ 時における A-A および W-A-2 試験体の結果を見ると、 $\delta = 35 \text{ mm}$ において W-A-2 試験体の等曲げ区間のひずみが A-A 試験体よりも若干小さく、また等せん断力区間のひずみが若干大きく示されており、 $\delta = 40 \text{ mm}$ の場合にはその傾向がより顕著となっている。

以上のことより、AFRP 補強材の剥離は W-A-1 試験体の場合に最も早期に発生し、次いで W-A-2, A-A の順であることが明らかになった。また、AFRP 補強材の剥離開始時には、等せん断力区間のひずみが増加する傾向がある。これは、後述するように、下縁かぶりコンクリート部に発生した斜めひび割れがシートを下方へ押し出して引き剥がすピーリング作用によって発生することによるものと考えられる。

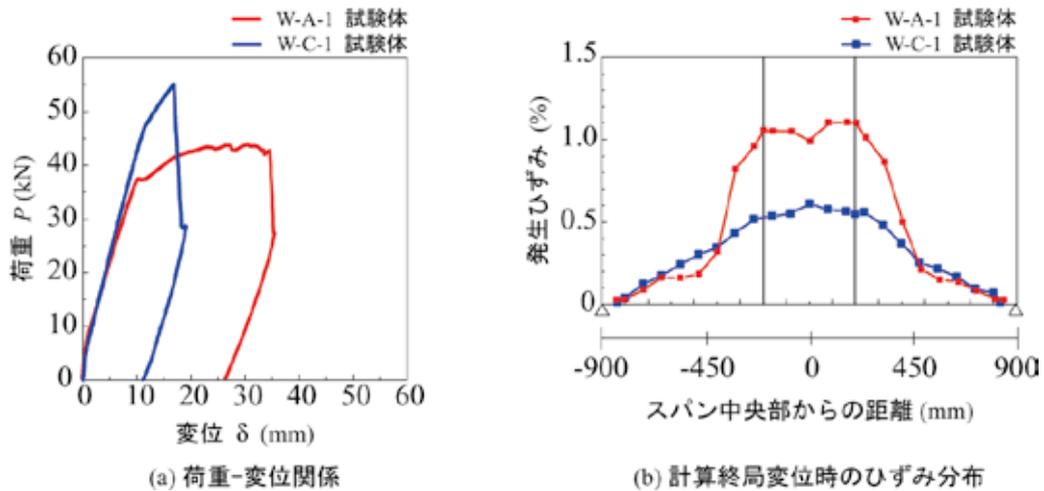
3. 3 ひび割れ性状

写真-1 には、各試験体の補強材剥離および破断

直前のひび割れ性状の比較を示している。写真より、A-A 試験体は等曲げ区間では上縁コンクリートの圧壊、載荷点近傍の下縁かぶりコンクリート部では斜めひび割れがシートを下方に押し出して引き剥がすピーリング作用の兆候が見られる。ただし、いずれも損傷は軽微である。

W-A-1/2 試験体は、ともに等曲げ区間における上縁コンクリートの圧壊、下縁かぶりコンクリート部におけるピーリング作用によるシートの部分剥離が A-A 試験体よりも顕在化していることがわかる。これは、A-A 試験体よりも早期に AFRP 板の剥離や上縁コンクリートの圧壊が生じたことによるものである。なお、W-A-1 試験体の場合が W-A-2 試験体の場合よりもピーリング作用に起因する斜めひび割れの本数が少ない。これは、W-A-1 試験体の場合には斜めひび割れが増加する前に下縁コンクリートと水中硬化型接着樹脂の接着界面に剥離が生じたためと考えられる。また、等曲げ区間のコンクリートと水中硬化型接着樹脂の接着界面近傍には水平ひび割れの発生が見られる。このような傾向は W-A-1 試験体の場合で強く現れている。このことは、W-A-1 試験体が曲げ耐荷性能が低いことと関連しているものと考えられる。

W-C-1 試験体の場合には、曲げひび割れの発生が認められるものの、極めて軽微である。これは、CFRP



図－6 W-A/C-1 試験体の荷重－変位関係および計算終局変位時の軸方向ひずみ分布に関する実験結果の比較

板の引張軸剛性が大きいため終局時における梁のたわみ量が小さいことによるものである。

3. 4 引張軸剛性の大きい補強材を用いる場合の耐荷挙動

前節までの検討において、AFRP 板よりも引張軸剛性が大きい FRP 板として CFRP 板を用いて補強した W-C-1 試験体の場合には、AFRP 板を用いる場合に比べて梁に発生するひび割れが軽微であり、かつ CFRP 板は破断に至るまで剥離の兆候を全く示していないことが明らかになっている。

これは、本実験に用いた CFRP 板の引張軸剛性が AFRP 板の場合よりも 3 倍以上大きいため、CFRP 板を用いる場合には、1) 梁の曲げ剛性が大きくなるため、たわみが抑制され、2) その結果、剥離に影響を及ぼすひび割れの発生も軽減され、3) さらに、補強材の発生ひずみが水中硬化型接着樹脂の終局ひずみよりも小さい、ことによるものと推察される。

図－6には、参考のために W-A-1 および W-C-1 試験体に関する荷重－変位関係および計算終局変位時の補強材の軸方向ひずみ分布に関する実験結果を比較して示している。図より、W-C-1 試験体の場合が W-A-1 試験体の場合よりも梁の変位量や FRP 補強材の発生ひずみが小さいことがわかる。

以上のことより、水中接着補強時における補強材の剥離を抑制するためには、補強材の引張軸剛性を大きくすることが有効であるものと判断される。なお、本実験では、弾性係数が大きい CFRP 補強材を用いることにより引張軸剛性を大きくしているが、従来の AFRP 板の補強量を増加させて引張軸剛性を大きくする場合においても同様の改善効果が得られるものと考えられる。

4 まとめ

本研究では、水中接着補強工法による RC 梁の曲げ補強効果の改善を目的に、伸び性能の高い水中硬化型接着樹脂および引張軸剛性の大きい FRP 板を用いた水中接着曲げ補強 RC 梁の静載荷実験を行った。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) 伸び性能に優れる水中硬化型接着樹脂を用いることにより曲げ耐荷性能が多少向上するものの、その補強効果は気中接着の場合よりも小さい。
- 2) 水中接着補強する場合における補強材の剥離を抑制するためには、弾性係数が大きい補強材を用いるか、もしくは補強量を増加させてその引張軸剛性を大きくすることが有効である。

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 (2010), p.1327-1332.
- (2) 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).
- (3) 土木学会: コンクリート標準示方書[設計編], 土木学会, (2007).

シリカスケールの形成メカニズムに関する研究

境 昌宏^{*1}, 一木 智康^{*2}

1 はじめに

日本の河川水や地下水などの淡水中に含まれるシリカ (SiO_2) 濃度は諸外国と比較すると高い数値を示す。北野の報告⁽¹⁾によれば、世界の河川水の平均シリカ濃度が 11.67mg/L であるのに対し、日本の河川水の平均シリカ濃度は 26.84mg/L と倍以上の値である。このようにシリカ濃度の高い我が国の水が金属材料やセラミックス材料と接した場合に、水中のシリカが原因と思われる金属材料の腐食、あるいはセラミックス製衛生陶器表面へのスケール固着の問題が生じる。シリカが他の水中溶解成分と大きく異なる点として、その濃度が高くなると重合が生じることが挙げられる。この重合を繰り返すことにより、水中のモノマーシリカはポリマー化し、セラミックス上の OH 基とも強く結びつくため、物理的あるいは化学的にも除去困難なスケールになると言われる。図 1 にシリカスケール形成の概念を示す。シリカスケール形成には、シリカの重合過程が重要な役割を果たしていると思われるが、その詳細なメカニズムにはいまだ不明な点が多い。よって、本研究ではシリカスケール形成メカニズムの一助となることを期待し、シリカ重合過程に及ぼす pH の影響について調べた。またシリカスケールが原因で発生すると考えられている銅のマウンドレス型孔食の基礎的データ蓄積を目的として、銅板上で形成されるシリカスケールについても調査を行った。これら実験により得られた成果について報告する。

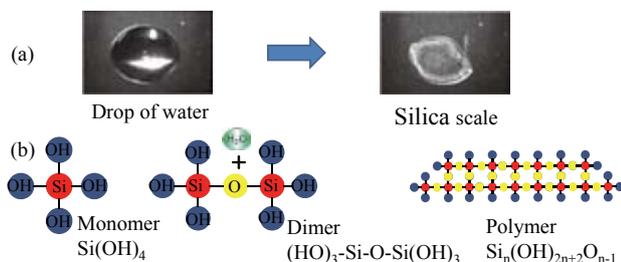


図 1 シリカスケール形成の概念図；(a) 水滴からシリカスケール、(b) シリカの重合過程

2 実験方法

2.1 水の pH を変化させた場合のシリカ溶解量

100mL ポリプロピレン製容器にイオン交換水 100mL 入れ pH を調整した。pH は 1~13 の範囲で 1 刻みに調整した。pH6 は酸、アルカリを添加せずそのまま、pH1~5 は HCl, pH7~13 は NaOH により pH 調整を行った。pH 調整後、各試験水に非晶質 SiO_2 (関東化学(株)製、純度 99.9%)を 0.1g 添加し、攪拌後、室温下で静置した。試験開始直後、1, 5, 60 日後に試験水の上澄みを採取し、モリブデン青吸光度法⁽²⁾にてシリカ濃度を測定した。

2.2 水の蒸発過程におけるシリカの重合

SiO_2 が高温ほど溶解性が増すという性質⁽³⁾を利用して、耐熱性ビーカーにイオン交換水と非晶質 SiO_2 を入れ、230°Cに設定した定温乾燥器内に入れ加熱した。加熱後にろ過をし、得られた試験水を 1L テフロンビーカーに 500mL ずつ入れ、その後、pH を調整した。pH は 2, 6, 8, 12 の 4 水準とした。pH6 は無調整, pH2 は HCl, pH8, 12 には NaOH により pH 調整を行った。pH 調整後、試験水を再度定温乾燥器に入れ、230°Cに加熱し、試験水を蒸発させた。初期試験液量を 100%とし、蒸発前、および試験液残量が 50, 20, 10%のときに試験液の上澄みを 15mL 採取した。そのうちの 10mL はそのまま保管し、5mL はアルカリ煮沸⁽⁴⁾を行った。アルカリ煮沸により試験液中の重合しているシリカを解重合させ、全てをモノマーの状態にした。その後、そのまま保管していた試験液とアルカリ煮沸を行った試験液中のシリカ濃度を、モリブデン青吸光度法を用いて測定した。この方法はシリカ水溶液中のモノマーで存在するシリカのみを青く発色させ、紫外可視分光光度計でモノマーシリカの濃度を測定する方法である。よって、アルカリ煮沸を行った試験液の濃度とそのまま保管しておいた試験液の濃度差から重合量を求めることができる。シリカ濃度測定は蒸発直後、7日後に行った。

2.3 銅板上へのシリカスケール形成

試験片には無酸素銅板(99.96%Cu, w10×L10×t1mm)を用いた。500mL ポリプロピレン製ふた付容

*1 もの創造系領域

*2 TOTO(株)

器に試験液 100mL を入れ、容器の底にアセトン脱脂した銅板を 3 枚浸漬した。試験液はシリカのみを含む溶液(1)xppmSiO₂、およびシリカと塩化物イオンを含む溶液(2)xppmSiO₂+20ppmCl⁻を用いた。溶液(1), (2)の SiO₂ 濃度 x は 0, 20, 50, 100 の 4 水準とした。なお、溶液(1)の x=0 はイオン交換水、溶液(2)の x=0 は塩化物イオン単味水となる。SiO₂ は非晶質二酸化ケイ素(関東化学(株)製、純度>99.9%)を既報の方法⁽⁵⁾でイオン交換水中に溶解させた。所定の濃度に調整した SiO₂ 溶液に Cl⁻を塩化ナトリウム(NaCl, 和光純薬(株)製)により添加し、溶液(2)を調整した。試験片の浸漬条件は室温(23℃)下、液静止とした。試験液 1 種類につき上記ポリプロピレン容器を二つ用意し、一つの容器からは浸漬開始 3, 5, 7 日後に、もう一つの容器からは 14, 28, 60 日後に銅板を取り出し、FT-IR, SEM, EPMA による皮膜観察・分析に用いた。

3 実験結果及び考察

3.1 シリカ溶解量と pH との関係

図 2 に各 pH におけるシリカ濃度を示す。実験直後のシリカ濃度は pH1~9 までは 3ppm 以下、pH10 より高い場合に溶解量は急増し、pH13 では 102ppm を示した。この原因として、シリカが高 pH 領域においてケイ酸イオンとして存在したためと考えられる。日数が経過するにつれてシリカ溶解量は増加し、60 日後において pH1 から pH8 までは約 50ppm を示し、pH13 では 1008ppm を示した。もともとのシリカの添加量が 100mL イオン交換水中に 0.1g、すなわち 1000ppm であることから、pH13 では全てのシリカが溶解したと推察される。

3.2 水の蒸発過程におけるシリカ重合量

図 3 に pH2, 6, 8, 12 の試験水の各蒸発量におけるシリカ濃度を示す。中塗りがモノマーシリカ濃度、白抜きが重合したシリカ濃度を示し、その和が全シリカ濃度となる。各 pH の溶液ともに実験直後

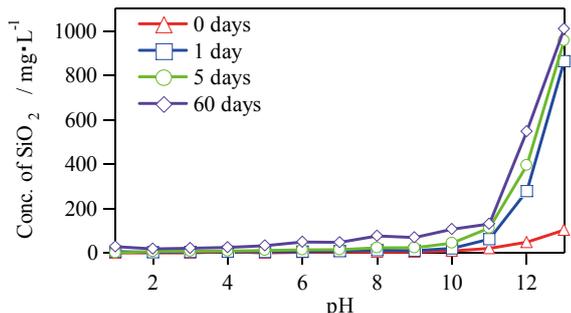


図 2 各 pH におけるシリカ濃度

の全シリカ量は蒸発が進むにつれ、高くなる傾向を示した。このことから、試験液中のシリカは揮発することなく試験液中に存在し、例えば水が半分蒸発するとその濃度が 2 倍になることが分かった。図 3 より、試験液残量が 10%になると、pH6, 8 の試験液で約 100ppm のシリカが重合していることが分かる。pH2, 12 の試験液では重合は確認されなかった。1 週間後に同様の測定を行うと、pH6, 8 の試験液ではシリカ重合量は約 500ppm を示し、モノマーシリカ濃度は約 150ppm まで低下した。このことから pH が中性付近では、シリカ重合が進みやすいと言える。一方、pH2 では 180ppm の重合が確認され、pH12 は重合が確認されなかった。以上のことから、シリカ重合量および速度は溶液の pH に依存し、中性域で重合は早く、酸性あるいはアルカリ性領域では重合は遅いことが判明した。

3.3 銅板上に形成したシリカスケールの FT-IR 分析結果

2.3 に示す溶液(1)に 3, 14, 60 日間浸漬した試料表面の赤外吸収スペクトルを図 4 に示す。図 4(a),(b)より、イオン交換水と 20ppmSiO₂ 溶液に浸漬した銅板試料からはいずれの浸漬日数においてもピークは検出されなかった。図 4(c),(d)より、50, 100ppmSiO₂ 溶液に 14, 60 日浸漬した試料から、800, 1020cm⁻¹ 付近にピークが検出された。データベースとの照合により、これらピークはシロキサン結合(Si-O-Si 基)と帰属された。このことより 50ppm 以上のシリカ単味水中に銅板を 14 日間以上浸漬すると、その表面にはシロキサン結合を含むケイ素の酸化物からなる皮膜が形成されることが示唆された。

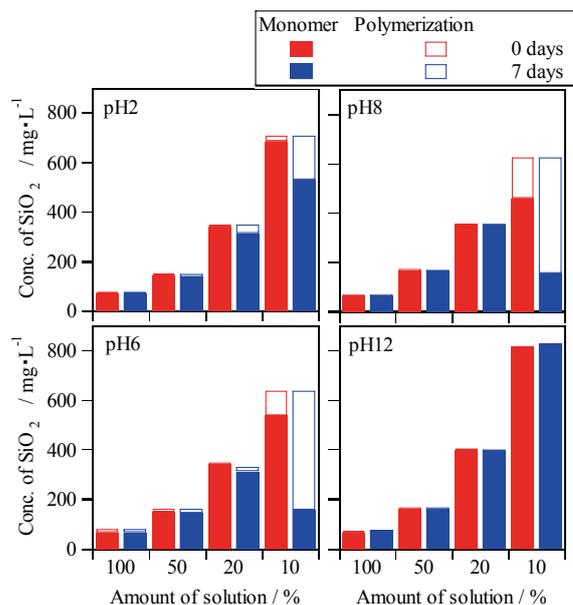


図 3 pH2, 6, 8, 12 におけるシリカ重合量

2.3 に示す溶液(2)に 3, 14, 60 日間浸漬した試料表面の赤外吸収スペクトルを図 5 に示す. 図 5(a)より, 20ppmCl⁻のみを含む溶液に 14, 60 日間浸漬した試料からは, 600cm⁻¹ 付近に強い吸収スペクトルピークが検出された. Poling の報告によれば⁽⁶⁾, 酸化銅 (I) (Cu₂O) の赤外吸収スペクトルは 620cm⁻¹ 付近にピークを持つ. 今回検出されたピークは Poling が報告した Cu₂O のピークに近いことから, 20ppmCl⁻溶液に浸漬した銅板には Cu₂O 皮膜が形成されたものと推察される. 図 5(b),(c),(d)は, 図 5(a)の 20ppmCl⁻溶液に SiO₂ がそれぞれ 20, 50, 100ppm 入った溶液である. これら溶液に 14 日間浸漬した試料からは, 図 5(a)と同様に 600cm⁻¹ 付近にピークが見られた. 浸漬日数 60 日の試料では, 図 5(b)の 20ppmSiO₂ +20ppmCl⁻では際だったピークは観察されなかった. これに対し, 図 5(c),(d)の 50ppmSiO₂ +20ppmCl⁻および 100ppmSiO₂+20ppmCl⁻では, 14 日浸漬試料で見られていた 600cm⁻¹ のピークが弱まり, 図 4(c),(d)で見られた 800, 1020cm⁻¹ 付近のピークが顕著に現れた. 以上より, 50ppm 以上のシリカと 20ppm 塩化物イオンが共存する溶液中に浸漬した銅板表面には, Cu₂O 皮膜が形成された後に, シロキサン結合を含むケイ素の酸化物が形成されるものと推察された.

3.3 銅板上に形成したシリカスケールの SEM 観察および EPMA 分析結果

シリカを含む溶液中で銅上に形成された皮膜を SEM により観察した. 先ずシリカ単味溶液で形成された皮膜について述べる. 図 6 に一例として 100ppmSiO₂ 溶液に浸漬した銅板試料表面の SEM 観察結果を示す. 図 6 より, 浸漬期間が長くなるにつれて, 試料表面に粒状のスケールが凝集・堆積していくのが分かる. 浸漬 7 日後まではスケールの大きさも小さく, まばらに点在しているが, 浸漬 14 日後では試料表面に多数のスケールが存在し, 観察エ

リアほぼ全面がスケールで覆われている. 28, 60 日と日数が経つにつれて, より多くのスケールが試料表面を覆い, スケールどうしが凝集してより大きなスケールとなっている箇所も観察される. この粒状スケールに含まれる元素を特定するために, 100ppmSiO₂ 溶液に 14 日間浸漬した試料表面の EPMA 分析を行った. その結果を図 7 に示す. 図 7 より粒状スケールの箇所では, Cu の検出が弱く, Si と O が強く検出されることが分かる. このことから, 図 6 に示す粒状スケールはケイ素の酸化物であると推察された. この結果は図 4 に示す FT-IR 分析結果において, 100ppmSiO₂ 溶液に浸漬した試料表面から, シロキサン結合, すなわちケイ素 Si と酸素 O との結合が検出された事実とも矛盾しない.

図 8 に 20ppmCl⁻溶液ならびに 50ppmSiO₂+20ppmCl⁻ 溶液に 60 日間浸漬した試料表面の SEM 観察結果を示す. 20ppmCl⁻溶液に浸漬した銅板表面には, きれいなファセット面を持つ大きさ数 μm の角張ったスケールが凝集して多数存在した. 一方, 50ppmSiO₂+20ppmCl⁻溶液に浸漬した銅板表面には, 20ppmCl⁻溶液のときと同じ角張ったスケールも一部観察されるが, スケールの大部分は, 丸みを帯びた大きさ 1μm より小さな粒状のものであり, それが表面に凝集, 堆積していた. 図 5 の FT-IR 分析結果より, 20ppmCl⁻溶液中に 14, 60 日間浸漬した銅板表面からはいずれも Cu₂O の存在を示唆するピークが強く現れた. また, 50ppmSiO₂+20ppmCl⁻溶液中に 14, 60 日間浸漬した銅板表面からはそれぞれ Cu₂O, Si の酸化物の存在を示唆するピークが検出された. 以上の結果より, 図 8 に示す 20ppmCl⁻溶液中で形成された角張ったスケールは Cu₂O であると推察される. 一方, 50ppmSiO₂+20ppmCl⁻溶液中に浸漬した銅板表面には, 浸漬 14 日程度までの比較的初期の段階では主として Cu₂O の皮膜が形成されるが, さらに浸漬期間が経過すると, ケイ素の酸化物を主成分とする粒状スケールが銅板表面に凝集, 堆積することが分かった.

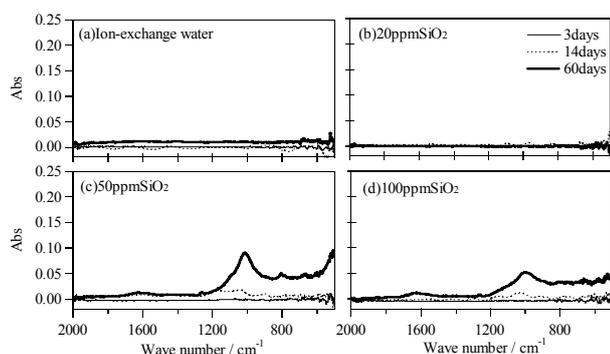


図 4 シリカ水中に浸漬した銅板表面スケールの FT-IR スペクトル

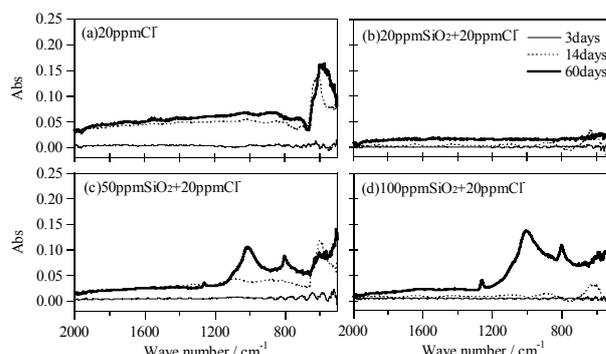


図 5 シリカ+塩化物イオン水中に浸漬した銅板表面スケールの FT-IR スペクトル

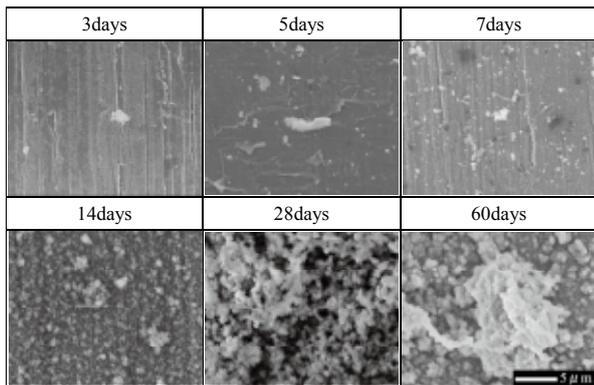


図6 100ppm シリカ水中に浸漬した銅板上のシリカスケール SEM 観察結果

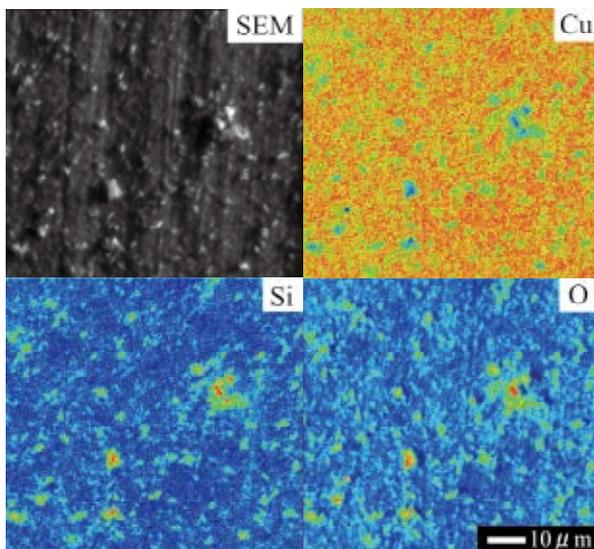


図7 100ppm シリカ水中に14日間浸漬した銅板上のシリカスケール EPMA 分析結果

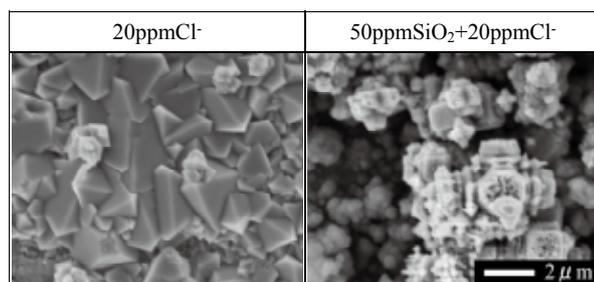


図8 20ppmCl⁻溶液ならびに 50ppmSiO₂+20ppmCl⁻溶液に60日間浸漬した銅板表面のSEM 観察結果

4 まとめ

シリカスケール形成メカニズム解明のため、シリカの重合量および重合速度に及ぼす pH の影響を調べた。シリカの重合量は pH に依存し、中性域で重

合が早く、酸性あるいはアルカリ性域では重合は遅いことが分かった。通常、我々が使用する水道水や工業用水などの淡水は pH が中性域であることから、シリカスケールが形成しやすい水だと言える。シリカスケール形成を抑制するため、水の pH を調整する方法も考えられる。銅板上に形成されるシリカスケールは浸漬初期の段階で形成され、時間の経過とともに粒成長していくことが分かった。その成分はシロキサン結合を含むケイ素の酸化物であることが判明した。

参考文献

- (1) 北野康：科学の目で見える地球の環境－空・水・土－(1992), p47
- (2) 工業用水試験法 JIS K0101 44.2
- (3) 岩崎 岩次：無機化学全書XII-2 (1986), 丸善
- (4) 工業用水試験法 JIS K0101 44.1.2
- (5) M.Sakai and O.Seri, *Zairyo-to-Kankyo*, 58 (2009), p434.
- (6) G.W. Poling, *J. Electrochem. Soc.*, 116 (1969), p958

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*2, 栗橋 祐介*2

1 はじめに

平成7年に発生した兵庫県南部地震以降、緊急輸送道路に架かる既設橋梁に対する耐震補強が鋭意実施されている。しかしながら、鋼アーチ橋や鋼方杖ラーメン橋等に関しては、地震時に複雑な挙動を示すことより、その効果的な耐震補強方法は未だ確立されていないのが現状である。近年では、制振ダンパー等を設置することにより、エネルギー吸収性能を向上させ地震時の振動を低減させる工法^{(1),(2)}が用いられている。

しかしながら、北海道の山間部に位置する全ての既設橋梁に対して、このような対策を講じることは積雪寒冷地域における制振ダンパー等の性能や設置費用の面からも現実的ではないものと考えられる。

このような背景より、本研究では耐震補強の対象橋梁である既設鋼方杖ラーメン橋を対象に、合理的な耐震補強に資するための基礎資料を得ることを目的として、その固有振動特性を把握するための実験および数値解析による検討を行った。実験による検討では、車両走行後における鋼方杖ラーメン橋の自由振動を計測することによって、その固有振動特性の把握を試みた。また、数値解析による検討においては、有限要素法による固有振動解析を試み、振動実験結果との比較を行うことにより、実験結果や数値解析モデルの妥当性に関する検討を行った。なお、本解析には構造解析用汎用プログラム ABAQUS⁽³⁾を用いた。

2 対象橋梁の概要

本研究で対象とした橋梁は、一般国道236号に架かる深山橋（橋長98m）であり、昭和54年に竣工された。構造形式は鋼方杖ラーメン橋である。図1には、深山橋の一般図を示している。本橋梁は約2.7%の縦断勾配を有し、かつ後述の図2に示すように側径間部（P2橋脚～A2橋台区間）は緩やかにカーブしている。支承条件は、上部工の両端（A1/A2橋台）が橋軸方向に対して可動支承、両橋脚（P1/P2橋脚）の基部が橋軸直角方向の回転を許容するピン支承となっている。写真1には深山橋の全景を示している。

3 振動実験の概要および結果

3.1 実験概要

本実験では、図2に示すように上下流側の地覆部および下流側の橋脚部にサーボ型振動計（上流側：11台、



写真1 深山橋全景

*1 (株)構研エンジニアリング

*2 暮らし環境系領域 社会基盤ユニット

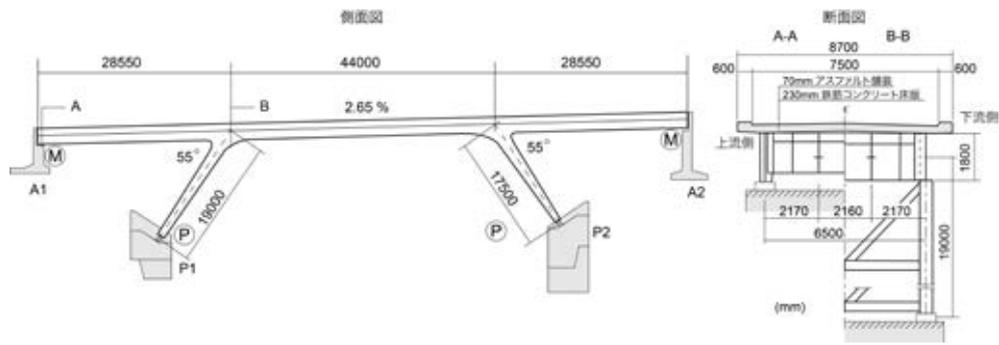
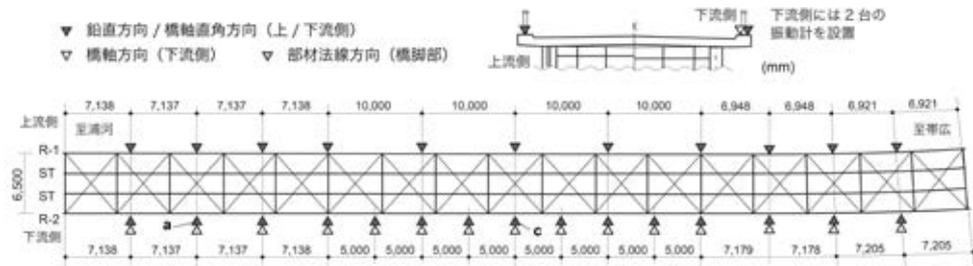
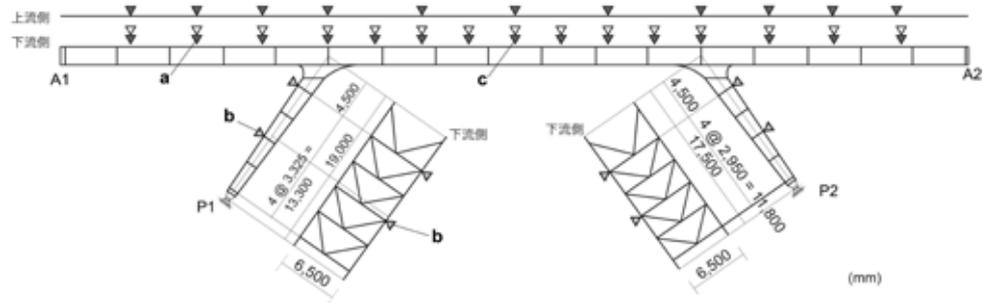


図1 一般図



(a) 平面図



(b) 側面図

図2 振動計の配置図

下流側：30台，橋脚部：4台，計45台）を設置した。図3には，本計測システムの概要を示している。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用アンテナに無線によって送信され，収録用PCに一括収録している。なお，計測のサンプリングタイムは5msである。本実験では，鉛直方向および橋軸直角方向振動モードを特定するために，以下のように振動計を配置した。すなわち，

- 1) 鉛直振動モードを特定する場合には，下流側（全15点）にそれぞれ2台の振動計を設置して，感度方向を鉛直方向および橋軸方向とした。2台の振動計を設置することによって2方向の計測を可能とした。また，上流側に設置した振動計は全て感度



図3 計測システム

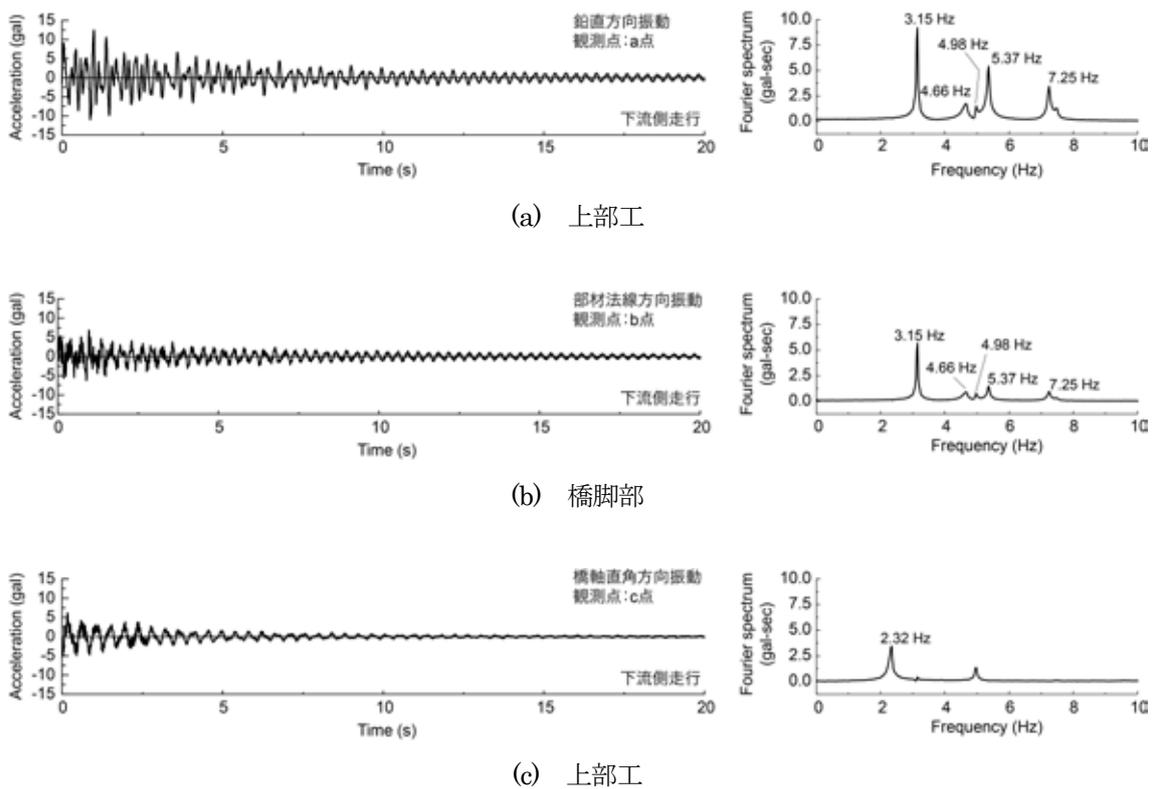


図4 計測波形の一例とそのフーリエスペクトル

方向を鉛直方向とした。

- 2) 橋軸直角方向振動モードを特定する場合には、1) において感度方向を鉛直方向とした振動計のそれを橋軸直角方向に変更した。

なお、橋脚部に設置した振動計の感度方向は部材法線方向に固定とした。振動計測は、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。

3.2 固有振動数および減衰定数の決定方法

実測加速度波形を用いた低次固有振動モードおよび固有振動数の決定方法は、既往の論文^{(4), (5)}を参考に、以下の手順に基づいて実施した。

- 1) 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低次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 1/4 周期毎における各測点の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振動で移動せず、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。

また、減衰定数の決定方法は、以下の手順に基づいて実施⁽⁶⁾した。

- 1) 得られたフーリエスペクトルを参考に、各卓越振動数を中心にバンドパスフィルタ処理を施し、減衰自由振動波形を生成する。
- 2) 得られた減衰自由振動波形の各周期における最大振幅値を用いて、減衰定数を算出する。
- 3) なお、卓越振動数が近接しバンドパスフィルタ処理を施しても、適切な減衰自由振動波形が生成されない場合には、減衰定数の算出はしていない。

3.3 実験結果

図4には、実験結果の一例として大型車両通行後に下流側の測点 a, b, c (図2参照) で計測された 20 秒間の加速度波形とその加速度波形から求められたフー

表2 実験結果と数値解析結果との比較

振動モード		固有振動数 (Hz)			減衰定数 h (%)
		実験結果 f_e	数値解析結果		
			可動支承 f_{am}	固定支承 f_{af}	
1	水平 1 次	2.32~2.34	1.87	2.16	1.16
2	曲げ 1 次	3.13~3.15	3.09	3.24	0.42
3	曲げ 2 次	4.66~4.76	4.66	3.75	-
4	ねじり 1 次	4.98	5.11	5.15	-
5	曲げ 3 次	5.32~5.40	5.08	5.53	-
6	ねじり 2 次	7.25~7.45	6.91	-	-

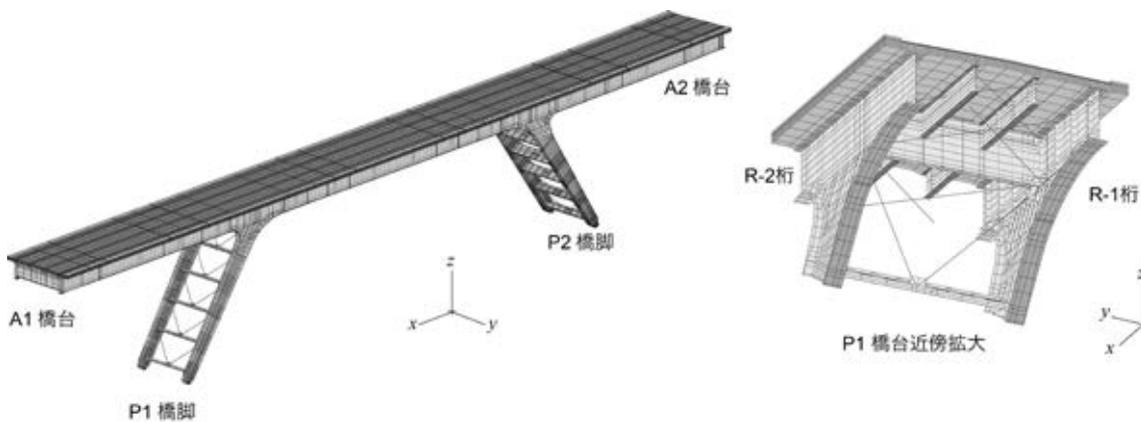


図5 要素分割状況

リエスペクトルを示している。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。

まず、(a)、(b)図に示す上部工の鉛直方向および橋脚の部材法線方向加速度波形に着目すると、上部工では最大13gal程度、橋脚部では7gal程度の加速度が得られており、車両走行によって橋脚部にも振動が励起していることが分かる。また、(c)図に示す橋軸直角方向に関しても最大5gal程度の加速度が得られており、車両走行のみでも十分な振動が励起されていることが確認される。なお、いずれの観測点においても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。

表2には、特定された各振動モードに対する固有振動数および減衰定数を一覧にして示している。表中の f_e は実験で得られた固有振動数、 f_{am} および f_{af} は後述の有限要素解析において支承条件を可動および固定支承とする場合の固有振動数を示している。なお、各振動モードに対して固有振動数に若干の幅が示されている。これは、車両重量や走行速度および橋梁が平面的に若干の曲率を有していることより、車両の走行方向(上、

下流側)によって振動モードが若干異なることに起因するものと推察される。また、減衰定数に関しては、表2に示すように卓越振動数が比較的離れている水平1次振動および曲げ1次振動モードに対しては算出することができたものの、それよりも高次の振動モードに関しては、卓越振動数が近接していることより明確に特定するまでには至らなかった。

4 固有振動解析

4.1 有限要素モデル

本研究では、今後の耐震補強を念頭に振動実験の他に、架設当初の形状データを基に三次元有限要素法を用いた固有振動解析を実施し、実験結果と比較することによりその妥当性について検討を試みた。

図5には、解析に用いた有限要素モデルを示している。対象橋梁は縦断勾配を有し、かつ緩やかな曲線を有していることより、橋梁全体をモデル化して解析を行うこととした。解析モデルにおいて、主桁部および橋脚部には4節点シェル要素、床版部、舗装部および

表3 材料物性値一覧

材料	弾性係数 E (GPa)	密度 ρ (g/cm ³)	ポアソン 比 ν
鋼材	206	7.85	0.30
RC床版	30	2.50	0.20
アスファルト	9.8	2.30	0.35

支承部には8節点固体要素，対傾構および横構には簡略化のために2節点ビーム要素を用いている。総節点数および総要素数は，それぞれ約80,000，73,000である。なお，高欄や照明機器等は，それらが振動特性に与える影響が小さいものと判断されることよりモデル化していない。

4.2 境界条件および使用物性値

境界条件において，両橋脚の底部は設計条件に基づきピン支承とした。上部工両端の支承は，設計条件に即して可動支承とした場合と，経年劣化によって十分な機能を保持していないことを想定して固定支承と仮定した場合の2種類を設定した。表3には，本解析の使用物性値を一覧にして示している。

4.3 振動モード

図6には，数値解析結果から得られる水平，曲げおよびねじり振動における最低次固有振動モードを示している。図は支承条件を可動支承と仮定する場合の結果である。なお，ねじり2次振動モードに関しては，支承条件を可動とする場合には存在するものの，固定支承とする場合にはその存在を確認することができなかった。

5 実験結果と数値解析結果の比較

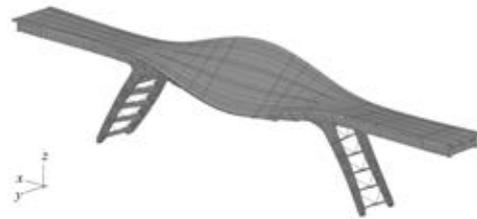
図7には，実験結果から特定された上部工における各固有振動モードを数値解析結果と比較して示している。また，表2には，各振動モードに関する固有振動数について，実験結果と数値解析結果を比較して一覧にして示している。なお，ねじり振動以外のモード分布は，全て下流側の加速度出力から求めたものである。また，下流側の振動モードに関しては橋軸方向の出力結果も反映させている。数値解析結果は，支承条件による影響を確認するために，A1/A2橋台の支承部を可動支承および固定支承とする場合の2種類について整理している。ただし，ねじり2次振動モードに関して



(a) 水平1次振動モード ($f_{am}=1.87$ Hz)



(b) 曲げ1次振動モード ($f_{am}=3.09$ Hz)



(c) ねじり1次振動モード ($f_{am}=5.11$ Hz)

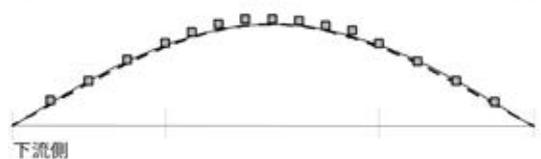
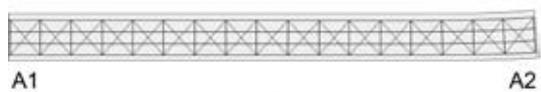
図6 固有振動モードの一例（可動支承の場合）

は，固定支承とする場合には出現しなかったため，可動支承と仮定する場合のみ示している。

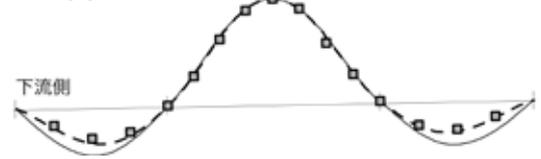
まず，(a) 図に示す最低次固有振動モードに着目すると，実験結果および数値解析結果は共に橋軸直角方向への振動モードであることが分かる。また，実験結果と数値解析結果の振動モードを比較すると，支承条件にかかわらず両者は非常に一致している。しかしながら，固有振動数は，いずれの解析結果においても実験結果より小さく評価されていることが分かる。

次に，曲げ振動モードについて着目すると，曲げ1次振動モード (b 図参照) の場合には，中央径間部に関しては支承条件にかかわらず解析結果は実験結果とよく一致しているものの，側径間部に関しては固定支承と仮定する場合が可動支承と仮定する場合よりも実験結果に近い。なお，実験における固有振動数は支承

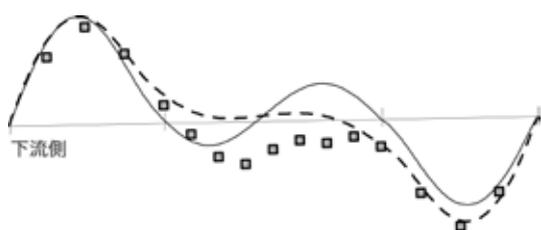
□ 実験結果 — 解析結果(可動) - - - 解析結果(固定)



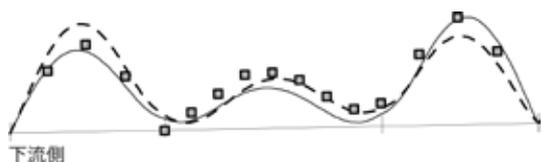
(a) 水平 1 次振動モード



(b) 曲げ 1 次振動モード

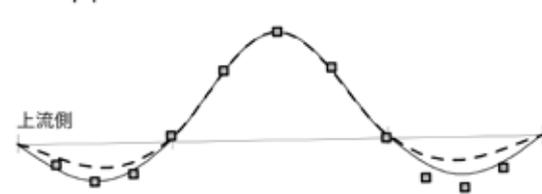


(c) 曲げ 2 次振動モード

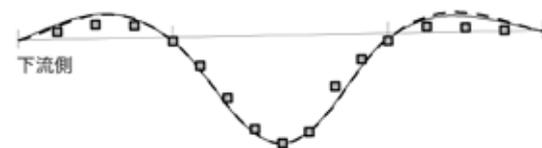


(d) 曲げ 3 次振動モード

□ 実験結果 — 解析結果(可動) - - - 解析結果(固定)



(e) ねじり 1 次振動モード



(f) ねじり 2 次振動モード

図 7 実験結果と解析結果におけるモード分布の比較

条件を可動支承とする場合と固定支承とする場合の間に分布していることが分かる。

曲げ 2 次振動モードの場合 (c 図参照) には、曲げ 1 次振動モードとは異なり、中央径間部に関しては数値解析結果と実験結果に差異が見られるものの、側径間部に関しては支承条件を固定支承と仮定する場合が実験結果とよく一致している。しかしながら、実験における固有振動数は、可動支承とする場合の解析結果に近く、固定支承と仮定する場合は実験結果の約 80% と小さい値となっている。

(d) 図に示す曲げ対称 3 次振動モードに関しては、実験結果は可動支承および固定支承と仮定する場合の振動モード分布の間に位置している。また、固有振動数に関しても両者の間に分布していることが分かる。

最後に、ねじり振動モードに着目すると、(e) 図のねじり 1 次振動モードに関しては、下流側の振動モードにおいては支承条件の影響が小さく、解析結果は実験結果の振動モードとほぼ一致している。一方、上流側を見ると可動支承と仮定する場合が実験結果とよく対応している。なお、実験結果による固有振動数は、数

値解析結果よりも若干小さいことが分かる。

ねじり 2 次振動モード (f 図参照) に関しては, A1-P1 区間は解析結果と実験結果は比較的一致しているものの, 他の径間においては両者の振動モードは異なっていることが分かる。

以上より, 振動実験から特定された固有振動数は, 水平 1 次振動モードを除いて, 上部工両端部の支承条件を設計時と同様に理想的な可動支承と仮定する場合と経年劣化を想定した固定支承を仮定する場合の数値解析結果の間にほぼ分布していることが明らかになった。

6 まとめ

本研究では, 既設鋼方杖ラーメン橋を対象に合理的な耐震補強に資するための基礎資料を得ることを目的に, その固有振動特性を把握するための振動実験を実施した。また, 別途有限要素法による固有振動解析も実施し, 両者の比較による振動実験結果の検証を行った。得られた結果を整理すると, 以下のように示される。

- (1) 車両走行後の自由振動状態における振動計測より, 低次の固有振動数および対応する振動モード分布を特定することができた。
- (2) また, 実験結果の固有振動数は, 水平振動モードを除き, 上部工両端部の支承部を設計時と同様に可動と仮定した場合と経年劣化によって十分な機能を保持していないことを想定して固定とした場合における数値解析結果の間にほぼ分布することを確認した。

今後は, 本有限要素モデルを用いた地震応答解析を実施し, 合理的な耐震補強に向けて検討を行う予定である。

謝辞

本実験を遂行するにあたり, 国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部浦河道路事務所には多大なご協力頂いた。関係各位に深く感謝の意を表する。

文献

- (1) 社団法人日本橋梁建設協会:鋼橋の制震技術の最前線-鋼橋に用いられる制震デバイスとその効果-, 技術委員会設計小委員会, 平成 21 年度技術発表会資料, (2009.10).
- (2) 山田次男, 菅原良雄, 松森順生, 中河武史: 制震ブレースによる鋼方杖ラーメン橋耐震補強の設計・施工-八戸

自動車道干草橋補強工事-, 橋梁と基礎, 44(7) (2010.7), p27-32, .

- (3) ABAQUS/Standard user's manual, Ver. 6.10, Dassault Systems Simulia Corp., (2010).
- (4) 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, 土木学会, 構造工学論文集, 47A, (2001.3), p1093-1102.
- (5) 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検討, 鋼構造年次論文報告集, 15 (2007.11), p269-276.
- (6) 橋梁振動研究会編: 橋梁振動の計測と解析, 技報堂出版, (1993.10).

自動車用部品の肉厚変動部のレアアースレス薄肉球状黒鉛 鑄鉄の良品条件の確立および品質確認システムの構築

三浦 孝之^{*1}, 清水 一道^{*2}

1 はじめに

自動車の燃費向上を実現する技術の一つとして、自動変速機の多段化が進んでおり、今後もこの傾向は継続されるものと考えられている。しかし、自動変速機の大型化や重量増加は燃費向上に反するため、多段化の推進には相対的な小型化・軽量化を伴うことが重要である。軽量化を行うために、鑄鉄鑄物を薄肉化すると、薄くなる部分に急冷により炭素は黒鉛としてではなく、Fe₃C(セメンタイト)を形成して現れてくる。この現象はチル化と呼ばれる。セメンタイトは硬くて脆いため壊れやすく、チル化した材料を機械構造材料として用いるのは不適切である。そこで、チル組織を抑制するために、黒鉛粒数を増加させることで、溶湯中の炭素を凝集させてセメンタイトの析出を抑える方法が考えられている。また、構造材料として用いるために、黒鉛を基地組織中に球状に晶出させて強度と靱性を持たせた球状黒鉛鑄鉄が利用されている。球状黒鉛鑄鉄を製造するためには、Ce(セリウム)やLa(ランタン)などレアアースと呼ばれる希少元素を含む球状化剤が添加されている。球状黒鉛鑄鉄を生産する上で、球状化剤の添加は欠かせないものとなっており、年間で約700~100ton程度使用されている。しかしながら、世界景気の回復に伴ってハイブリッドカーや家電製品の売上げが伸び、それに伴ってレアアースの需要も高まる一方、レアアースの埋蔵量、生産量ともに世界トップの中国が生産や輸出を制限している為、世界的にレアアースの需給が逼迫し国際価格が高騰している。そのため、球状化剤の高騰によるコスト増加や川下企業からのコスト削減を要求からくる鑄

造業界への影響は大きいものである。現在に至っても、レアアースの安定供給問題が根本的に解決していないことから、鑄造業界としてレアアース代替・削減策の開発が急務となっている。レアアースレスによる薄肉化技術を実用化するためには、それによって発生する鑄造欠陥などの課題を克服するとともに、自動車部品として求められる強度を維持しながら薄肉化と鑄造性を両立させることが必要である。

そこで、本研究では、溶湯の化学成分の調整などの鑄造方案を確立するとともに、レアアースレス化による鑄造欠陥などの品質保持・良品条件の確立、レアアースレス薄肉化に伴う強度評価手法を確立、部品の余肉を最小化するシミュレーション、製品の品質確認システムの構築などを行い、レアアースレスとした際でも従来の製品同等の強度をもった自動車部品用薄肉球状黒鉛鑄鉄製造システムの確立を目指す。

2 実験概要

2.1 接種処理方法の変更による高強度球状黒鉛鑄鉄製造技術の開発

本研究では、球状黒鉛鑄鉄の高強度化や靱性の向上を狙い、球状黒鉛鑄鉄溶湯に接種を施し、接種処理球状黒鉛鑄鉄を製造した。その後、引張試験やシャルピー衝撃試験を行い、接種処理の有無また違いにより、機械的性質に及ぼす影響を調査した。

まず、接種処理について説明する。接種処理とは、注湯の直前に少量の合金を添加する処理のことである。この処理を行うことにより、凝固後の黒鉛粒数を増加させて、チル化抑制や組織微細化などのメリットが得られる。鑄物の機械的性質を改善する手段は、接種処理の他に合金元素の添加や熱処理⁽¹⁾などがあるが、それら処理と比較して、低コストであり、また鑄放しで使用できるといった利点がある。接種処理は球状黒鉛

*1 佐藤鑄工株式会社

*2 もの創造系領域 材料工学ユニット

鋳鉄の品質改善に有効な手段であるが、接種処理は時間経過とともに効果が低くなるフェーディングと呼ばれる現象や冷却速度が大きいと接種をしてもチルが現れる問題が生じる。また、近年のレアアース供給不足の問題から、レアアースレス接種剤の使用が望ましい。薄肉鋳物にレアアースが有効であることは知られているが、レアアースレス接種剤において接種処理方法の違いによる薄肉鋳物のチル化抑制については報告が少ない^{(2),(3)}。

そこで、接種剤にレアメタルおよびレアアースを含有した Fe-Si-Bi 合金および Fe-Si-Zr 合金、レアアースレス接種剤である Fe-Si-Ca を用いて接種処理を施し、種々の形状へ鋳造した供試材を用い、組織観察、シャルピー衝撃試験、硬さ試験を行った。

2.1.1 接種剤および接種方法による厚肉球状黒鉛鋳鉄の製造

高周波誘導炉を用い、市販の高純度銑鉄および鋼板屑(自動車用鋼板の打ち抜き屑)を溶解し、サンドイッチ法による球状化处理、接種処理を施した後、幅 170mm、高さ 200mm、長さ 300mm の直方体ブロックに鋳造した、鋳放し鋳物を供試材とした。接種剤には Fe-Si-Bi(以下 Bi と表記する)および Fe-Si-Ca(以下 Ca と表記する)の 2 種類を用い、接種方法には取鍋接種法(以下取と表記する)と注湯流接種法(以下流と表記する)を用いた。また、接種方法は取鍋接種のみのパターンと取鍋接種と注湯流接種を行うパターンの 2 パターンとした。表 1 に各供試材の化学組成を示す。

作製した各供試材から引張試験片、シャルピー衝撃試験片を切り出し、引張試験およびシャルピー衝撃試験を行った。また各供試材の一部を樹脂埋め、研磨し、光学顕微鏡にて組織観察を行った。図 1 に各供試材の組織を示す。表 2 に黒鉛球状化率、粒数、粒径および面積率測定結果を示す。

表 1 各供試材の化学組成 (mass%)

接種方法	C	Si	Mn	P	S	Mg	C.I.値
Bi取	3.60	2.27	0.15	0.021	0.005	0.042	4.4
Bi取+流	3.75	2.15	0.22	0.019	0.004	0.039	4.5
Ca取	3.57	2.29	0.16	0.019	0.004	0.044	4.3
Ca取+流	3.50	2.02	0.16	0.020	0.004	0.046	4.2

表 2 黒鉛球状化率、粒数、粒径および面積率測定結果

	黒鉛球状化率(%)	粒数 (個/mm ²)	粒径 (μm)	面積率 (%)
Bi取	66.4	34	61.7	11.0
Bi取+流	84.9	110	35.8	11.0
Ca取	63.7	31	65.1	10.3
Ca取+流	73.5	48	50.1	9.4

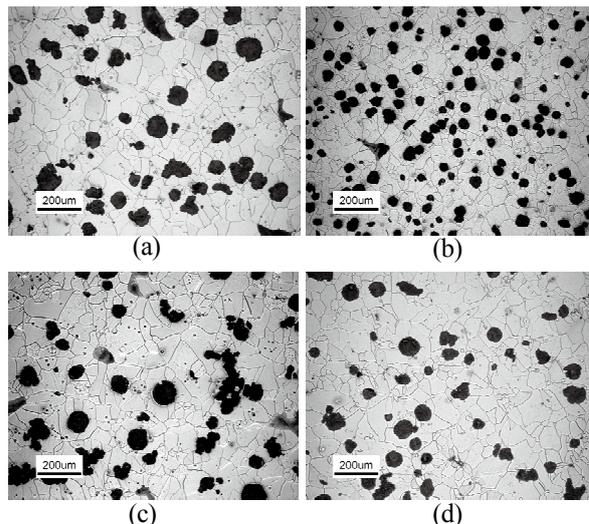


図 1 Bi 接種および Ca 接種供試材の組織

- (a) 接種剤：Bi 取鍋接種
- (b) 接種剤：Bi 取鍋+注湯流接種
- (c) 接種剤：Ca 取鍋接種
- (d) 接種剤：Ca 取鍋+注湯流接種

2.1.2 接種剤および接種方法による薄肉球状黒鉛鋳鉄の製造

2.1.1 の厚肉球状黒鉛鋳鉄と同様に高純度銑鉄および鋼板を溶解し、球状化处理および接種処理後に鋳造した。肉厚変動部で発生する問題点(引け巣、チル化)を調査するために、鋳造形状は階段状とした。本学で作製した供試材の寸法は幅 75mm、長さ 300mm、肉厚が 3, 4, 5, 6, 7, 8mm の 6 段の階段状試験片とした。接種条件は本学で作製した試験片は 2.1.1 の厚肉供試材と同条件で行った。注湯位置は肉厚の最も厚い位置(以下厚と示す)、最も薄い位置(以下薄と示す)、側面(以下側と示す)からの 3 パターンとした。また、鋳型の違いによって冷却速度などの影響が考えられるので、生砂型とフラン型の 2 種類を用いた。表 3 に各階段状試験片の化学組成を示す。図 2 に各階段状試験片の木型を示す。階段状試験片の各肉厚異なる位置から組織観察用のブロックを切り出し、樹脂埋めおよび研磨をして、光学顕微鏡にて組織観察を行った。図 3~10 に組織観察結果を示す。表 4~11 に黒鉛球状化率、粒数、粒径、面積率測定結果を示す。

2.2 評価

2.2.1 引張試験(厚肉鋳物)

本研究で開発した材料の評価にはドイツ工業規格の EN-GJS-400-18U-LT を用いた。その規格は日本工業規格(JIS)の JISG5502 の FCD400-18L に相当する。表 12

に規格を示す⁶⁾。

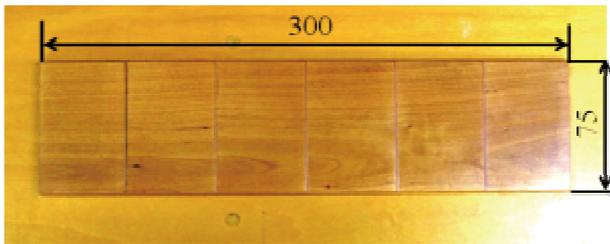


図2 階段状試験片の木型

表3 階段状供試材の化学組成 (mass%)

接種方法	C	Si	Mn	P	S	Mg	C.E.値
Bi取	3.59	2.02	0.15	0.020	0.005	0.038	4.1
Bi取+流	3.57	1.96	0.17	0.020	0.005	0.042	4.2
Ca取	3.34	2.04	0.16	0.019	0.006	0.042	4.0
Ca取+流	3.59	2.07	0.20	0.019	0.006	0.043	4.3

この規格は強度の他に靱性(粘り強さ)を要求する材料に適用される規格である。本研究で試作した厚肉鋳物は、風力発電用風車の部品のような低温環境下での靱性が要求される球状黒鉛鋳鉄の開発を目的に行われたため、EN-GJS-400-18U-LTの規格を適用した。試験には各供試材から14A号引張試験片を切り出し、試験を行った。

図11に引張試験結果を示す。表13に開発材料の引張試験のデータを示す。引張試験結果から、0.2%耐力および引張強さがEN-GJS-400-18U-LTを満たす結果が得られた。また、接種条件で0.2%耐力および引張強さに違いは見られなかった。

2.2.2 シャルピー衝撃試験

厚肉鋳物からシャルピー4号試験片を切り出し、シャルピー衝撃試験を行った。図12にシャルピー衝撃試験結果を示す。試験結果から、取鍋接種と注湯流接種を施した供試材は取鍋接種のみの供試材と比較して、高い吸収エネルギーを示した。特に、 -20°C で10J以上の値を示し、規格を満足した。この結果から、注湯流接種が球状黒鉛鋳鉄の組織および機械的性質の改善に有効であると明確になった。また、レアアースレスのCa接種剤でも、 -20°C で10J以上の衝撃吸収エネルギーを示したことから、レアアースレス接種剤でも接種による組織改善は可能であると考えられる。

取鍋接種と注湯流接種を施した供試材は -20°C で10J以上の衝撃吸収エネルギーを示した。なかでも、Bi接種供試材は -40°C でも10J以上の衝撃吸収エネルギーを示した。組織観察および黒鉛粒数測定の結果から、Bi

接種供試材は延性破壊を誘起する球状黒鉛の数が多く、組織より微細化していたためだと考えられる⁴⁾。基地組織のフェライト結晶粒径測定結果から、基地組織の結晶粒径が $40\mu\text{m}$ 以下と他の供試材よりも微細化していたため、 -40°C の低温度域で10J以上の衝撃吸収エネルギーを示したと考えられる。図13に基地組織のフェライト結晶粒径および黒鉛粒数と衝撃吸収エネルギーとの関係を示す。

図13の関係から、 -40°C でも10J以上の衝撃吸収エネルギーを有するには、黒鉛粒数が $100\text{個}/\text{mm}^2$ 以上、基地組織のフェライト結晶粒径が $40\mu\text{m}$ 以下の組織が必要だと考えられる。開発したBi接種および取鍋+注湯流接種球状黒鉛鋳鉄供試材は黒鉛粒数が $110\text{個}/\text{mm}^2$ であり、その結晶粒径は $37.9\mu\text{m}$ であった。図13の関係から得られる条件を満たしたため、開発した材料は規格の衝撃吸収エネルギーを満足したと考えられる。

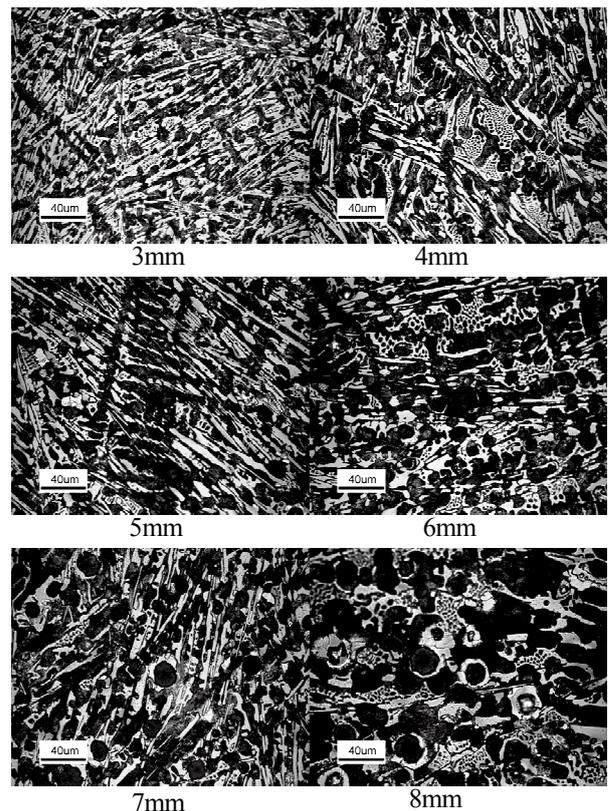
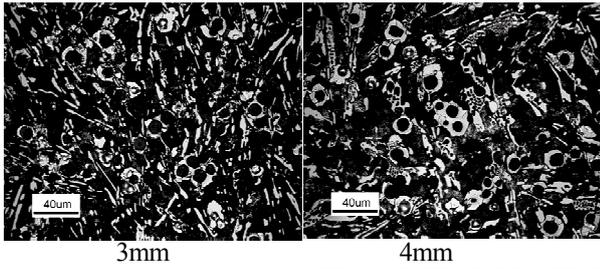
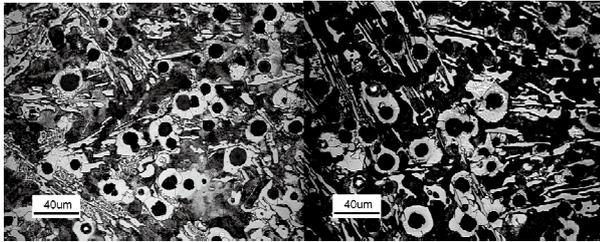


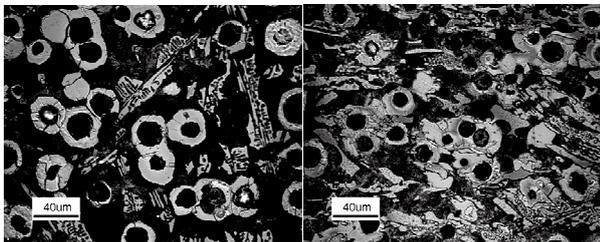
図3 階段状試験片の組織 (接種剤: Bi, 接種方法: 取鍋, 湯口位置: 厚肉側)



3mm 4mm

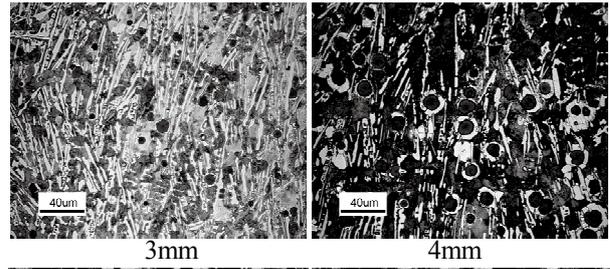


5mm 6mm

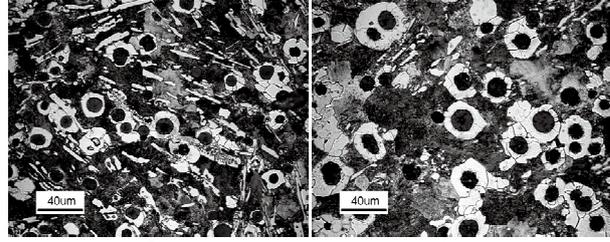


7mm 8mm

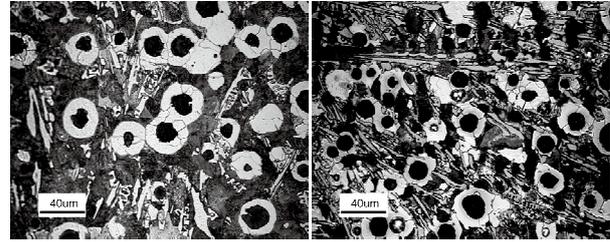
図4 階段状試験片の組織（接種剤：Bi，
接種方法：取鍋+注湯流，湯口位置：厚肉側）



3mm 4mm

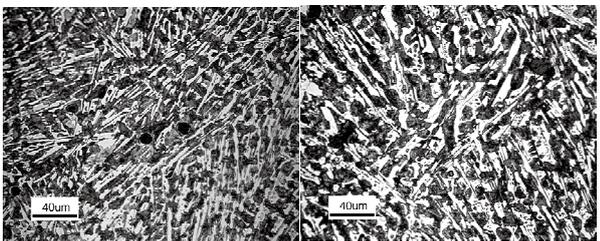


5mm 6mm

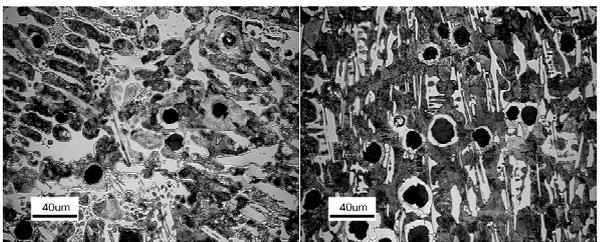


7mm 8mm

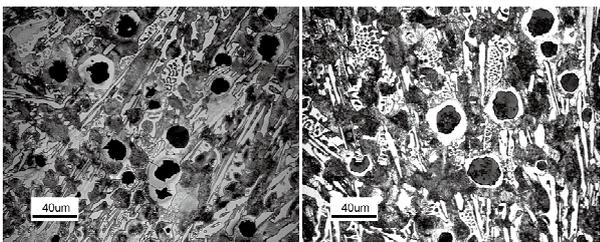
図6 階段状試験片の組織（接種剤：Ca，
接種方法：取鍋+注湯流，湯口位置：厚肉側）



3mm 4mm

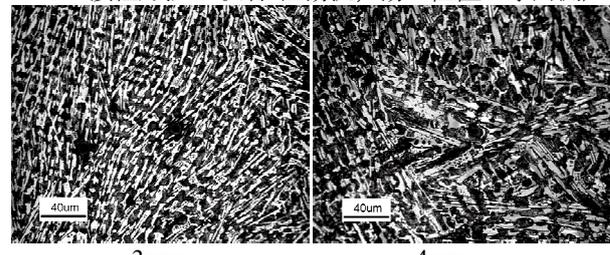


5mm 6mm

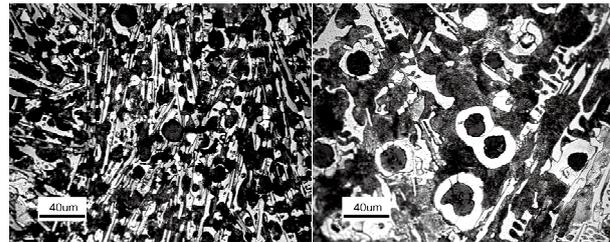


7mm 8mm

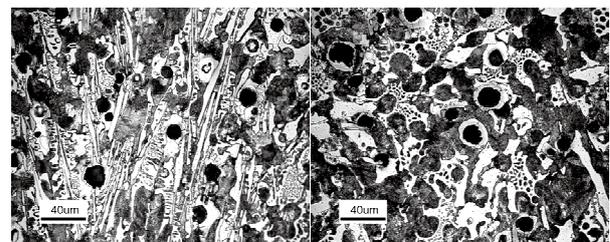
図5 階段状試験片の組織（接種剤：Ca，
接種方法：取鍋，湯口位置：厚肉側）



3mm 4mm



5mm 6mm



7mm 8mm

図7 階段状試験片の組織（接種剤：Bi，
接種方法：取鍋，湯口位置：側面）

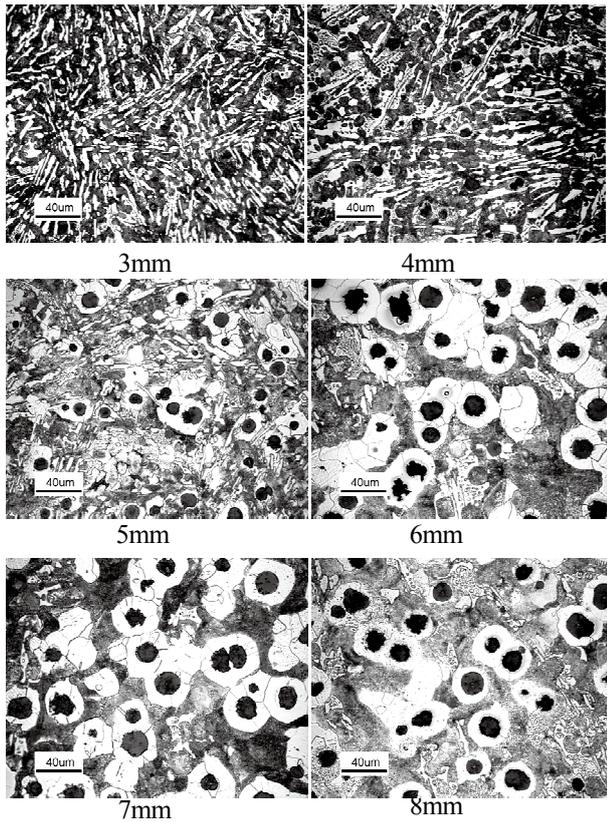


図8 階段状試験片の組織（接種剤：Bi，
接種方法：取鍋+注湯流，湯口位置：側面）

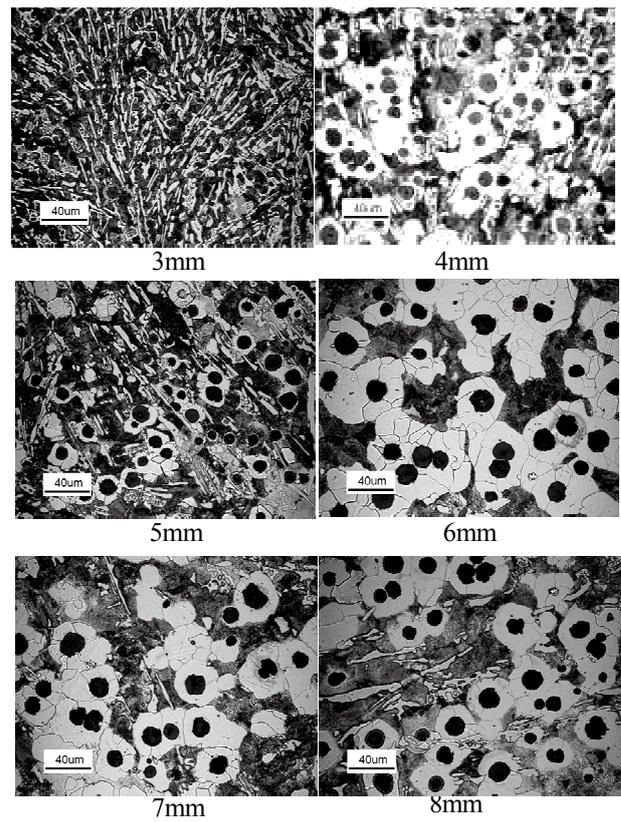


図10 階段状試験片の組織（接種剤：Ca，
接種方法：取鍋+注湯流，湯口位置：側面）

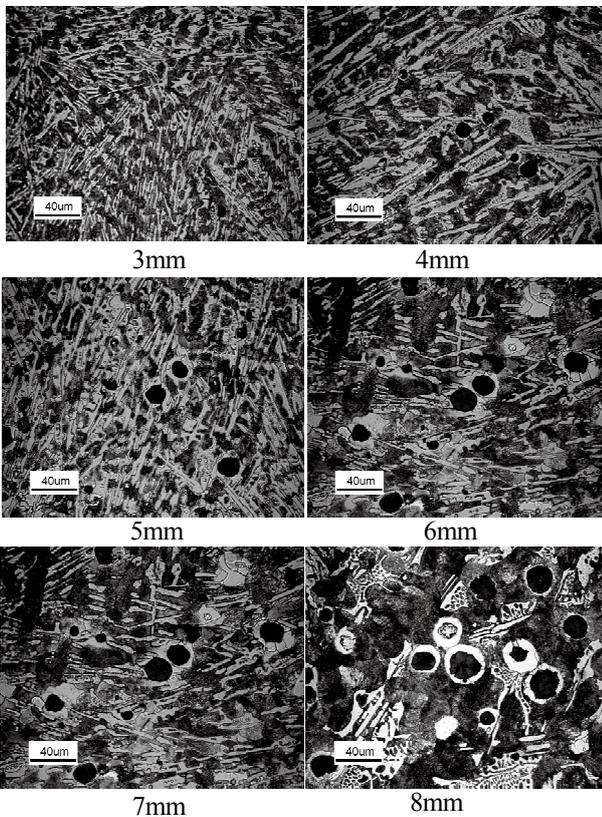


図9 階段状試験片の組織（接種剤：Ca，
接種方法：取鍋，湯口位置：側面）

表4 黒鉛球状化率，粒数，粒径および面積率
接種剤：Bi，接種方法：取鍋，湯口位置：厚肉

肉厚	黒鉛球状化率 (%)	粒数 (個/mm ²)	粒径 (µm)	面積率 (%)
3mm	23.1	165	10.1	1.3
4mm	56.7	303	9.8	2.3
5mm	74.8	281	10.1	2.3
6mm	74.3	359	10.7	3.3
7mm	83.5	297	15.1	4.1
8mm	80.3	340	12.8	4.4

表5 黒鉛球状化率，粒数，粒径および面積率
接種剤：Bi，接種方法：注湯流，湯口位置：厚肉

肉厚	黒鉛球状化率 (%)	粒数 (個/mm ²)	粒径 (µm)	面積率 (%)
3mm	90.6	526	8.5	3.0
4mm	89.9	683	8.6	4.1
5mm	91.6	749	10.6	6.5
6mm	86.7	684	10.4	5.8
7mm	83.6	391	15.0	6.9
8mm	88.3	451	12.3	5.4

表6 黒鉛球状化率，粒数，粒径および面積率
接種剤：Ca，接種方法：取鍋，湯口位置：厚肉

肉厚	黒鉛球状化率 (%)	粒数 (個/mm ²)	粒径 (µm)	面積率 (%)
3mm	74.6	85	10.4	0.7
4mm	89.0	159	13.0	2.1
5mm	92.1	220	14.0	3.4
6mm	82.2	200	14.9	3.5
7mm	90.2	204	15.7	3.9
8mm	78.7	222	14.2	3.2

表7 黒鉛球状化率, 粒数, 粒径および面積率
 接種剤: Ca, 接種方法: 注湯流, 湯口位置: 厚肉

肉厚	黒鉛球状化率 (%)	粒数 (個/mm ²)	粒径 (μm)	面積率 (%)
3mm	62.3	96	8.1	0.5
4mm	89.7	453	9.0	2.9
5mm	88.0	519	9.5	3.7
6mm	90.1	495	10.9	4.7
7mm	89.1	345	13.7	5.1
8mm	87.2	452	10.9	4.2

表8 黒鉛球状化率, 粒数, 粒径および面積率
 接種剤: Bi, 接種方法: 取鍋, 湯口位置: 側面

肉厚	黒鉛球状化率 (%)	粒数 (個/mm ²)	粒径 (μm)	面積率 (%)
3mm	47.7	137	8.6	0.8
4mm	75.1	226	9.3	1.6
5mm	84.3	371	10.6	3.3
6mm	76.8	300	15.3	5.5
7mm	81.2	341	12.4	4.1
8mm	74.7	307	11.2	3.0

表9 黒鉛球状化率, 粒数, 粒径および面積率
 接種剤: Bi, 接種方法: 注湯流, 湯口位置: 側面

肉厚	黒鉛球状化率 (%)	粒数 (個/mm ²)	粒径 (μm)	面積率 (%)
3mm	81.4	225	7.7	1.1
4mm	92.2	662	10.0	5.2
5mm	92.1	761	10.7	6.8
6mm	86.5	691	10.6	6.1
7mm	84.0	381	15.5	7.2
8mm	89.4	463	12.5	5.7

表10 黒鉛球状化率, 粒数, 粒径および面積率
 接種剤: Ca, 接種方法: 取鍋, 湯口位置: 側面

肉厚	黒鉛球状化率 (%)	粒数 (個/mm ²)	粒径 (μm)	面積率 (%)
3mm	36.7	48	9.4	0.5
4mm	87.2	148	12.0	1.7
5mm	78.0	235	12.1	2.7
6mm	84.9	230	15.1	4.1
7mm	86.8	214	17.3	5.1
8mm	82.7	216	16.6	4.7

表11 黒鉛球状化率, 粒数, 粒径および面積率
 接種剤: Ca, 接種方法: 注湯流, 湯口位置: 側面

肉厚	黒鉛球状化率 (%)	粒数 (個/mm ²)	粒径 (μm)	面積率 (%)
3mm	79.0	178	8.2	1.0
4mm	93.4	741	10.4	6.3
5mm	91.5	522	9.6	3.9
6mm	90.6	234	18.0	5.9
7mm	88.8	243	17.3	5.7
8mm	81.3	158	16.0	3.2

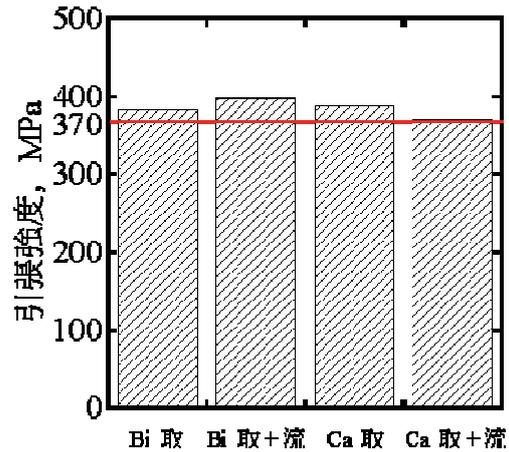


図11 引張試験結果

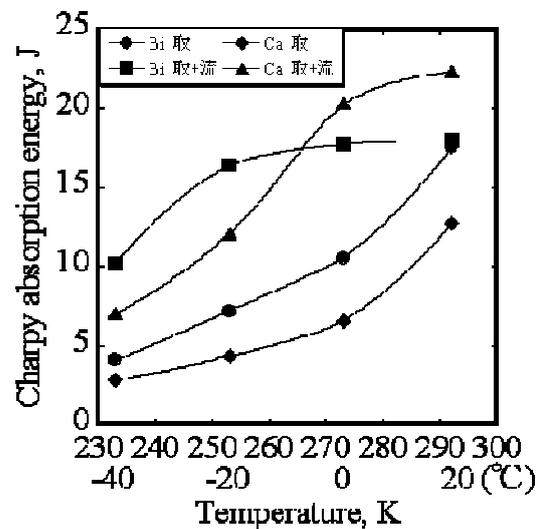


図12 シャルピー衝撃試験結果

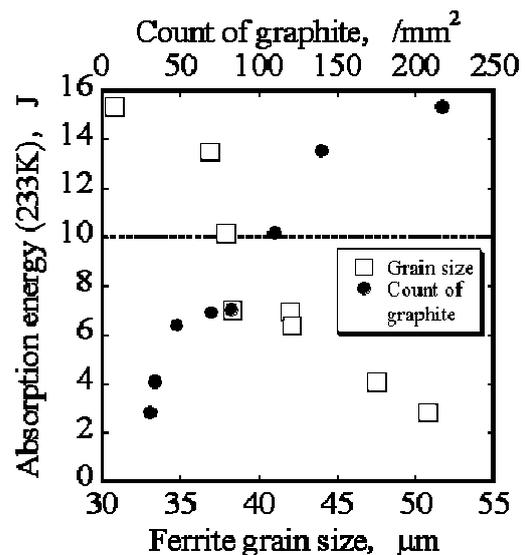


図13 フェライト結晶粒径および黒鉛粒数と衝撃吸収エネルギーの関係

表 12 ドイツ工業規格 EN-GJS-400-18U-LT

肉厚 (mm)	引張強度 (MPa)	0.2%耐力 (MPa)	伸び (%)	吸収エネルギー [253K(-20℃)](J)	
				平均	最低値
≤60	390	230	15	12	9
≤200	370	220	12	10	7

表 13 開発材料の機械的性質

	0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	絞り (%)
Bi 取	254	382	20	22.5
Bi 取+流	259	396	20	24
Ca 取	247	387	22	26
Ca 取+流	234	370	22	26

2.3 レアースレス球状黒鉛鑄鉄の薄肉化 技術の開発

2.3.1 階段状試験による球状黒鉛鑄鉄の 薄肉化

2.2.1 で作製した幅 75mm, 長さ 300mm, 肉厚 3mm, 4mm, 5mm, 6mm, 7mm, 8mm の階段状試験片の組織観察および硬さ試験を行った。組織観察の結果から、肉厚 3mm, 4mm および 5mm の部分にはチルが確認され、レデブライト組織となっていた。また、取鍋接種のみの試験片は肉厚 6mm, 7mm および 8mm の部分でもチルが確認された。一方、注湯流接種を施した試験片は肉厚 4mm の部分からブルズアイ組織が確認された。

図 14, 15 に階段状試験片の肉厚と黒鉛粒数の関係を示し、図 16, 17 に肉厚と基地組織の硬さの関係を示す。黒鉛粒数は肉厚が 4-6mm の部分で増加し、肉厚 7mm もしくは 8mm の部分で減少した。また取鍋接種のみの試験片と比較して注湯流接種を施した試験片の黒鉛粒数の増加量は 2 倍以上であった。取鍋接種のみの試験片の場合 Fe-Si-Bi 接種試験片の方が黒鉛粒数を多く確認されたが、注湯流接種をした試験片では接種剤の違いによる黒鉛粒数の影響は見られなかった。このことから、薄肉鑄物の場合、注湯流接種を行うことによって、レアースレス接種剤でも黒鉛粒数の向上を見込め、チル化抑制が可能だと考えられる。また、注湯の位置の違いで見てみると Fe-Si-Ca 接種の場合は階段状の側面から溶湯を流した方が黒鉛粒数を多く得られ、Fe-Si-Bi の場合は試験片の肉厚の最も大きい部分から溶湯を流した方が多くの黒鉛粒数を得られた。この結果は注湯流接種を行った場合であり、取鍋接種のみの試験片では側面から溶湯を流そうとも、肉厚の大きい部分から流そうとも、大きな違いは見られず、また、

同じ肉厚でも側面から流した試験片の黒鉛粒数が多くなる場合と肉厚の大きな側面から流した試験片の黒鉛粒数が多くなる場合があった。鑄物は同条件で鑄造しても、溶湯の不均一性などが影響して、組織の異なることがある。本研究における開発材料でも、溶湯の不均一性から側面から注湯した場合と肉厚の大きい部分から注湯した場合とで、黒鉛粒数に違いが生じたと思われる。また、取鍋接種のみの試験片の黒鉛粒数からみて、鑄造方案による違いは見られない。

次に、各供試材の肉厚と基地組織の硬さについて着目すると、階段状試験片の肉厚が大きくなるに従って、基地組織の硬さは低下した。最も薄い肉厚 3mm の基地組織の硬さは、Fe-Si-Ca 接種試験片では 550-600HV であり、Fe-Si-Bi 接種試験片は 350-600HV であった。肉厚が大きくなるにつれて硬さは低下し、肉厚 6-8mm の部分では 250-300HV であった。これは組織観察の結果から、チルが減少したことが主な要因だと考えられる。また、注湯流接種を施した試験片の硬さは取鍋接種のみの試験片よりも低く、こちらも組織中のチルが減少したためだと考えられる。特に、肉厚 6mm 以上の部分では取鍋接種のみの試験片と注湯流接種を施した試験片とで硬さに違いが見られ、組織観察の結果からもチルの減少が原因であると推察される。これらの結果から、注湯流接種が薄肉鑄物のチル化抑制に可能であると言える。なかでも、Bi 接種剤を用い、取鍋接種および注湯流接種で厚肉側から注湯した試験片は肉厚 3mm でも、黒鉛粒数が他の試験片よりも多く、硬さが低かった。これは黒鉛粒数を増やすことが出来たため、溶湯中の炭素がセメントイトとして現れず、チルの析出量が少なかったためだと考えられる。また、Fe-Si-Ca 接種でも 4mm で黒鉛粒数が 700 個/mm² を超え、基地組織の硬さが 300HV 程度であったこと、そして組織観察の結果からチルが少なく、ブルズアイのような組織になっていたことから、レアースレスの接種剤でも注湯流接種を用いることで、レアース含有接種剤に近い効果が得られると考えられる。

3 結論

本研究は、自動車用部品に用いられる薄肉球状黒鉛鑄鉄鑄物をレアースレス化することを目的に行い、階段状試験片を作製し、レアースレス球状黒鉛鑄鉄でもチル化抑制および球状黒鉛の形成がなされていたか観察した。その結果を以下に要約する。

まず、本学で作製した階段状試験片については、Fe-Si-Ca(レアースレス)接種よりも Fe-Si-Bi(レアース

スおよびレアメタル)接種の方がチルを抑制し黒鉛粒数を向上させたが、注湯流接種を施すことでレアアース接種でもチル化抑制の向上および黒鉛粒数の向上が見られ、注湯流接種法を利用することでレアアースでも薄肉球状黒鉛鉄鋳物のチル化を防げると推察できる。

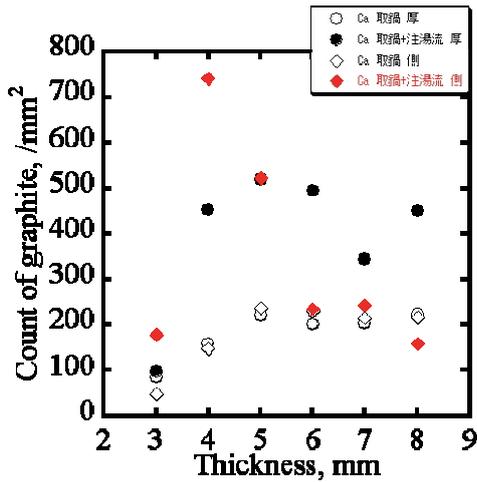


図 14 階段状試験片の肉厚と黒鉛粒数の関係 (Fe-Si-Ca 接種試験片)

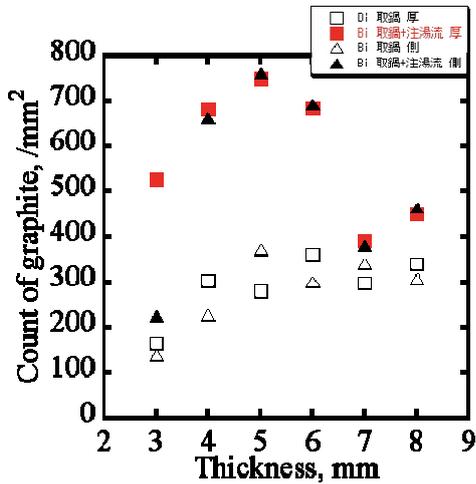


図 15 階段状試験片の肉厚と黒鉛粒数の関係 (Fe-Si-Bi 接種試験片)

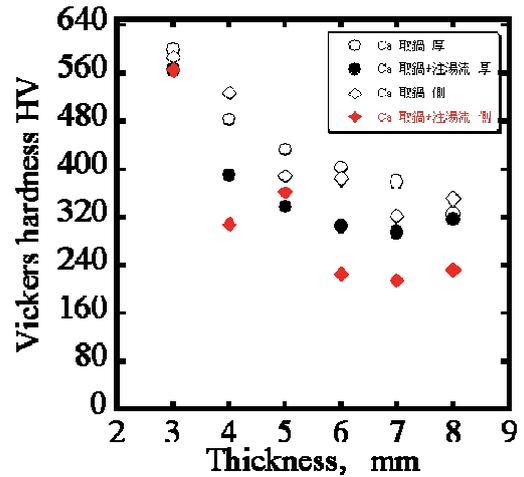


図 16 階段状試験片の肉厚と基地組織の硬さとの関係 (Fe-Si-Ca 接種試験片)

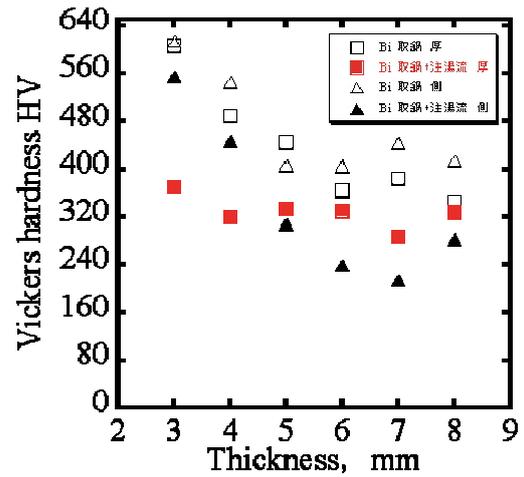


図 17 階段状試験片の肉厚と基地組織の硬さとの関係 ((Fe-Si-Bi 接種試験片)

文献

- (1) 井川克也, 新山英輔, 他3名 : 材料プロセス工学, 第10版, (2007), p 49-111.
- (2) T.Sekine, K.Shimizu, Y.Takamatu and T.Tazukuri : Proc. of Asian Foundry congress(AFC-11), China, (2011), P259.
- (3) R. H. McSwain and C. E. Bates: The Metallurgy of Cast Iron, ed. B. Lux et al., Georgi Publishing Company, Switzerland, (1975), P 421.
- (4) 中江秀雄 : 鑄造工学,79 (2007), P451.
- (5) DIN 規格 : EN-GJS-400-18U-LT 又は JIS 規格 : G5502 FCD400-18AL

【平成 23 年度 プレ共同研究成果】

高輝度 LED を用いた光治療器の開発

相津 佳永^{*1}, 三浦 淳^{*2}, 湯浅 友典^{*1}, 須貝 保徳^{*3}

1 はじめに

厚生労働省の調査では平成8年には43.3万人だったうつ病などの気分障害の総患者数は、平成20年には104.1万人と12年間で2.4倍に増加しており、現在も有効な対策手段が見いだせないまま増加の一途を辿っている。うつ病など気分障害の治療法としては抗うつ薬、抗不安薬、抗精神薬（気分安定薬）、睡眠導入薬などを用いた薬物療法が一般的であるが、各種副作用を伴い、中でも過剰摂取による自殺衝動が問題となっている。これに対して重篤な副作用をほとんど伴わない、光を用いた治療法が注目されおり、各種治療器が市販されている。しかし、照度を確保するために装置が大型で、また、規定の照度を得るために治療中は動けないなど使い勝手が悪く、広く普及するまでに至っていない。

本研究では、照明装置に高輝度LEDを用いることで、装置の小型、軽量化を実現し、治療中에서도行動可能な装着型の光治療器の開発を行った。また、本装置の有用性を使用試験にて検証した。

2 光療法の原理

2.1 体内時計と生体リズム

ひとには体内時計が存在し、その周期は約25時間である。そのため1日に1時間のリズムのずれが生じることになるが、光刺激により体内時計はリセットされる。つまり、朝起床して光を浴びると、脳のほぼ中央にある松果体から分泌される睡眠ホルモンのメラトニンが抑制され、体内時計がリセットされる。その後、14~16時間後に再びメラトニンが分泌され、夜になるころ眠くなる⁽¹⁾。

しかし、朝起床して光を浴びることができないと、正しい生体リズムが作られず、睡眠障害やうつ病など

各種疾患や病態の原因となる。そこで、光療法では強制的に朝の起床後に光を与えることで体内時計をリセットし、図1に示すような、より良い生体リズムへと変化させることを目的としている。

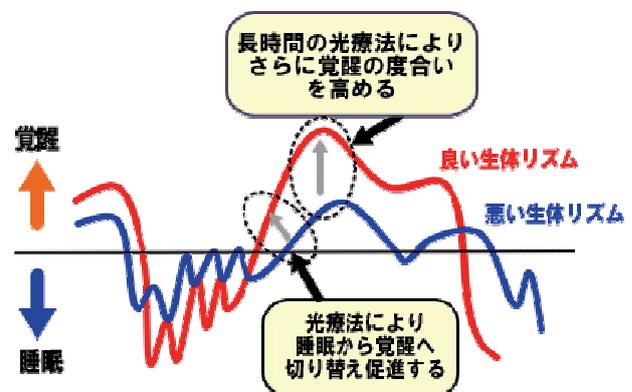


図1 光療法による生体リズムの変化

2.2 高照度光療法

光療法に用いる光源の照度は2,500 lx以上必要で、表1に示すように、一般的な室内の照明では照度が不十分であることが分かる。また、表2に示すように、治療にかかる時間は、照度と反比例の関係にある。

本研究では、朝起床後の時間が限られる現代人の生活スタイルを考慮し、照度10,000 lx、照射時間30分を実現する装置の開発を行った。

表1 生活環境の照度

生活環境	照度 (lx)
夏の晴天	100,000
晴天時の日陰	10,000
曇天	5,000
パチンコ店	1,000~2,000
事務所	300~800

*1 もの創造系領域

*2 ひと文化系領域

*3 株式会社電制

表 2 照度と照射時間の関係

照度 (lx)	照射時間 (min)
2,500	120
5,000	60
10,000	30

3 高照度光治療器

図 2 に今回開発した高照度光治療器の外観を示す。作業用セーフティグラスに、図 3 に示す様に指向性 90 度、光度 1,400 mcd の高輝度白色 LED を 7 個基板に配置し、さらに LED から照射光が直接視線に入らないよう、図 4 に示す様に基板から 7mm の位置に拡散板を配置したパーツを左右に各 1 個取り付けた。



図 2 今回開発した高照度光治療器

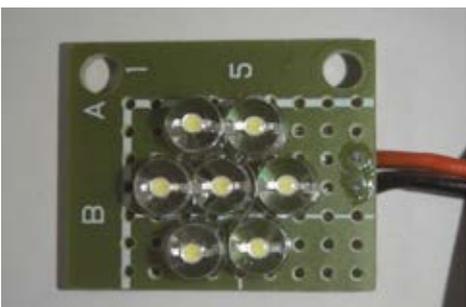


図 3 高輝度 LED



図 4 拡散板

2 個の LED 照明パーツの、中心に配置された LED の間隔は、AIST 人体寸法データベースの瞳間隔の平均値を参照し、600 mm に設定した。また、2 個の LED 照明パーツは、丸棒をコの字型に折り曲げた両端にネジで取り付けられており、目への照射角度と距離が任意に変更可能となっている。

4 実験

4.1 照度実験

図 5 に今回開発した高照度光治療器の照度を計測するために作成したマネキンヘッドを示す。マネキンヘッドの頭部をカットし、2 台の照度計 (sanwa 社製 LX2) の測定プローブが左右の瞳の位置に配置されるように内部に設置した。照度計の動作が安定した後、光治療器を 10 回着脱し、左右の目に照射される照度を計測した。結果を図 6 に示す。左右で若干のバラツキがみられるが、ほぼ設定した照度が確保されていることが分かる。

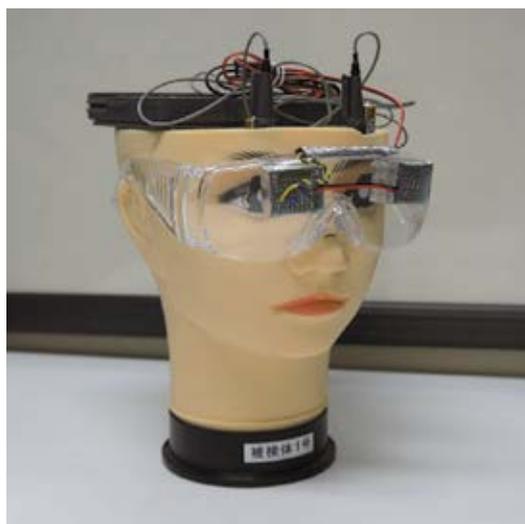


図 5 照度計測用マネキンヘッド

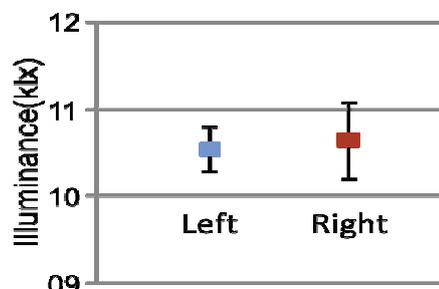


図 6 照度計測結果

次に照明装置のずれに伴う照度変化の計測を行った。基準位置から前後に距離が変化した場合の結果を表 3

に、上下に角度が変化した場合の結果を表4に示す。目に近づく方向と上を+とする。計測結果より、拡散板から目までの距離が40mmとかなり近い位置に照明装置が配置されているため、前後のずれによる照度変化は大きいですが、拡散板による効果で角度のずれに対する照度変化はさほど大きくないことが分かった。

表3 基準位置から前後に距離が変化した場合の照度

距離 (mm)	右目照度 (klx)	左目照度 (klx)
+3	12.18	12.10
+2	11.55	11.56
+1	11.01	11.00
基準位置	10.39	10.36
-1	9.82	9.81
-2	9.40	9.42
-3	8.91	8.88

表4 基準位置から上下に角度が変化した場合の照度

角度 (deg)	右目照度 (klx)	左目照度 (klx)
+5	10.97	10.96
+4	10.83	10.82
+3	10.72	10.70
+2	10.57	10.57
+1	10.46	10.45
基準位置	10.36	10.36
-1	10.27	10.29
-2	10.15	10.15
-3	10.06	10.04
-4	9.94	9.92
-5	9.86	9.82

また、マネキンヘッドに眼鏡を装着してから、光治療器を装着した場合の照度変化を表5に示す。

表5 眼鏡装着時の照度

眼鏡の有無	右目照度 (klx)	左目照度 (klx)
なし	10.46	10.59
遠視用	10.40	10.43
近視用	10.26	10.26

計測結果より、眼鏡の上側のフレームの影響で若干照度は低下したが、ほぼ影響がないことが分かる。

最後に今回照明に用いた高輝度LEDの分光分布を図7に示す。今回用いた白色LEDは、青色LED+黄色発色蛍光体で構成されているため、分光分布に2つのピークが表れる。人体への影響について詳細に解析された報告例はまだ少ないが、青色波長成分が網膜に影響を及ぼすとの報告例がある⁽²⁾。しかし、光治療に効果がある波長成分は青色成分との報告例⁽³⁾もあるため、

安全性と光治療効果を考慮し、黄色フィルムを拡散板に貼り付け、青色波長成分を50%に低減させた照明装置も作成し有効性を調べた。図8に青色波長成分を50%カットした照明装置の分光分布を示す。また、これ以降それぞれ、白色光照明、黄色光照明と表す。

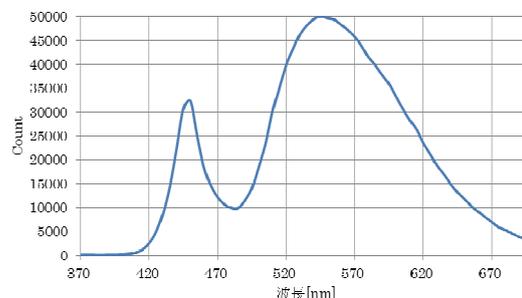


図7 分光分布 (白色光照明)

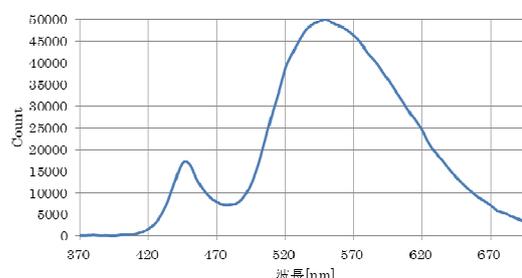


図8 分光分布 (黄色光照明)

4.2 使用実験

下記に示す条件下で本高照度光治療器を用いた実験を行い、本装置の有用性について検証を行った。

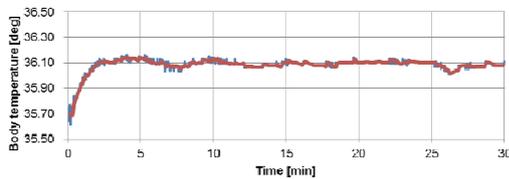
- ・被験者：健康な男子学生 10名
- ・実験場所：環境管理室 (室温 24°C, 湿度 55%)
- ・室内照明：高照度光治療器使用中は消灯
- ・起床時間：7時 (12時就寝)
- ・測定項目：体温, 体動, 脳波, 脳血流
- ・比較項目：装着無照明, 白色光照明, 黄色光照明

体温計測にはテクノサイエンス社製耳用体温ロガー DBTL-2 を、体動計測にはタニタ社製の sleep scan SL-502 を、脳波計測にはデジテックス研究所製の Polymate AP 1532 を、脳血流計測には浜松ホトニクス社製の赤外線酸素モニター装置 NIRO-2000 をそれぞれ用いた。体温, 脳波, 脳血流については高照度光治療器使用中のデータを、体動については睡眠開始時から実験終了までのデータを計測した。図9に実験時の様子を示す。

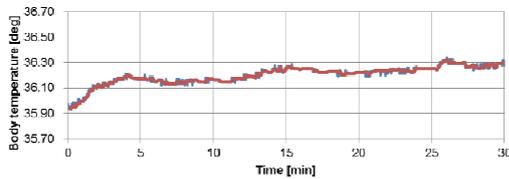


図9 実験時の様子

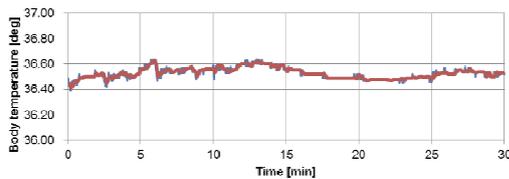
5 実験結果



(a) 装着無照明

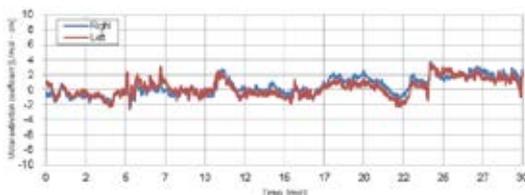


(b) 白色光照明

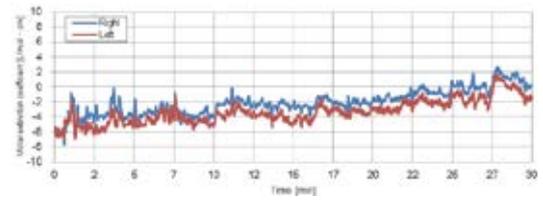


(c) 黄色光照明

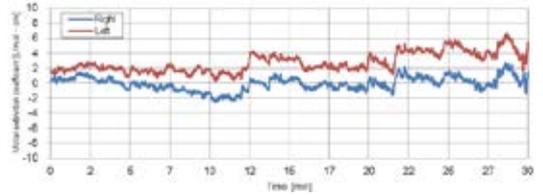
図10 体温変化



(a) 装着無照明



(b) 白色光照明



(c) 黄色光照明

図11 脳血流変化

被験者 A の高照度光治療器使用中の体温変化を図10に、脳血流変化を図11に示す。装着無照明の場合、両グラフの変動はほとんどみられない。これを変化の基準と考えると、白色光照明の場合、体温、脳血流共に時間経過と共に上昇していることが分かる。黄色光照明の場合、被験者が12分の所で体を動かしたため、グラフにギャップが出てしまい詳細な解析を行えないが、白色光照明程ではないが、緩やかに上昇している傾向がみられる。

6 おわりに

本研究では、照明装置に高輝度LEDを用いることで、小型かつ軽量で、治療中でも行動可能な装着型の光治療器を開発した。本装置を用いた使用実験を行う時間が十分に確保できなかったことと、睡眠リズムに関与するメラトニンの計測を行うことが出来なかったため、本装置に有用な効果があることを確実に示すまでのデータが得られなかった。今後はより被験者を増やした実験を長期的に行い、メラトニンなど覚醒状態を主観的に判断できる測定項目を追加して実験を行う予定である。

文献

- (1) 大川匡子, 生体リズムと光, 照明学会誌, 93(3) (2099), p.128-133.
- (2) 小出良平, 青色発光ダイオード光による網膜障害, 日本眼科学会雑誌, 105(10)(1991), p603.
- (3) Roger J. Cole, etc., Bright-Light Mask Treatment of Delayed Sleep Phase Syndrome, JOBR, 17(1)(2002), p89-101.

可搬型擬似夜明け療法器の開発と医学的検証

三浦 淳^{*1}, 湯浅 友典^{*2}, 相津 佳永^{*2}, 千葉 武雄^{*3}

1 はじめに

患者が睡眠している間に、夜明けのように徐々に照度が増す光を人為的に与える治療法を、擬似夜明け療法 dawn simulation と呼ぶ。この治療法は、季節性感情障害（「冬季うつ病」とも呼ばれる）や、睡眠障害などに有効であることが報告されている。しかし、治療器は国内外ともにほとんど市販されておらず、この治療法自体も普及していない。そこでわれわれは、さまざまな疾患・病態の治療・予防に使用されることを目指し、高い治療効果が期待できる擬似夜明け療法器を試作した。

2 方法

機器の試作にあたり、光照射時間、照度の調節プログラムについては、Terman and Terman の論文（Am J Psychiatry 2006; 163: 2126-2133）に倣った。具体的には、3時間30分かけて、0ルクスから250ルクスへと、S字上に照度が上昇するプログラムを開発した。さらに、どのような向きで寝ても必要な照度の光が当たるような形状を目指し、半円筒形の照射器を独自に考案し、その照度を計測した。

3 結果

本研究に試作した擬似夜明け療法器の外観を図1、その調光プログラムを図2に示す。フレームは、株式



図1 擬似夜明け療法器の試作器

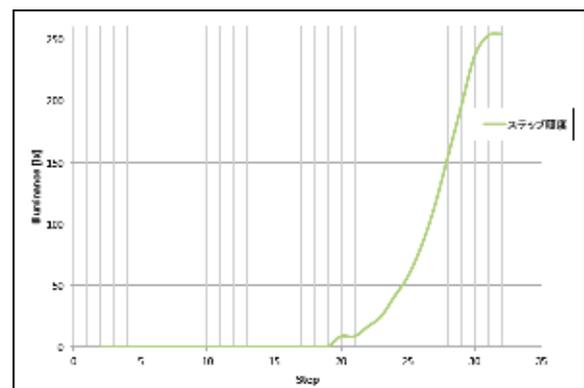


図2 擬似夜明け療法器の調光プログラム。

32ステップ、3時間30分かけて0ルクスから250ルクスへS字状に照度が増加するプログラム制作した。

*1 ひと文化系領域
*2 もの創造系領域
*3 株式会社プラウシップ

会社プラウシップが製作し、調光プログラムは本学が開発した。Terman and Terman の論文と同様、3時間30

分けて 0 ルクスから 250 ルクスまで、S 字状に照度が増加することが確認された（図 2）。また、250 ルクス照射時、マネキンの両眼に照度プローブを設置し、左 90 度側臥位から仰臥位、右 90 度側臥位へと体位（頭位）を変えたときの、眼球に当たる光の照度を測定した。その結果、図 3 に示すように、左側臥位（0 度）や右側臥位（180 度）付近では受ける光の照度に左右差が認められた。しかし、左右の平均値をとると、頭がどの角度を向いても確実に 250 ルクスの光を受けていることが確認された。

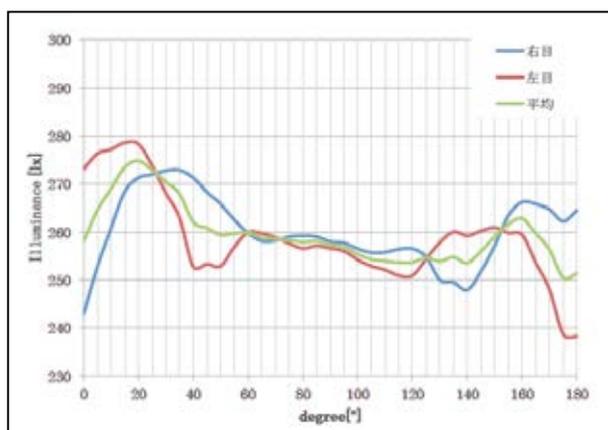


図3 250ルクス照射時の頭の向きと左右の眼球に当たった光の照度。

左側臥位を 0 度、仰臥位を 90 度、右側臥位を 180 度とした。

4 考察

われわれが試作した擬似夜明け療法器は、Terman and Terman (2006)が使用した擬似夜明け療法器と、同様の調光機能を備えていることが確認された。擬似夜明け療法は、季節性感情障害や睡眠障害に有効であることが示唆されており、これらの障害の治療に有効であることが期待される。特に季節性感情障害は、北海道や北欧のように緯度の高い地域で、毎冬うつ病を繰り返す疾患であるので、地元北海道の人々の健康増進、うつ病予防・治療に有益であることが期待される。

光療法には、擬似夜明け療法の外に、高照度光療法も 1980 年代より医療現場で行われてきた。高照度光療法は、2500 ルクス以上の人工光を、照度に応じて 30 分～120 分間、与えるという治療法である。高照度光療法も季節性感情障害や睡眠障害に有効であり、われわれも著効例を報告した⁽¹⁾。擬似夜明け療法と高照度光療法の大きな違いは、前者は睡眠中にプログラムされた光を自動的に浴びるのに対し、後者は朝起床して

から自ら光を浴びなければならないことである。起床後に 30 分以上の時間を治療に費やすことは、仕事や学校に行く人にとっては困難であり、睡眠中に治療できる擬似夜明け療法は大きな利点があると言える。

本研究で開発した機器の独創性の一つに、頭がどの向きを向いても（うつ伏せでなければ）、必要な照度の光が確実に与えられるという点である。このことから、適応となる疾患・病態の治療・予防効果を、最大限に高めることが可能となり、臨床現場での利用がおおいに期待される。さらにこの独創的な形状から、医療現場以外でも、ホテル（特にカプセルホテル）、航空機・寝台列車・船舶などの長距離交通機関、睡眠障害が多いと言われている宇宙ステーションなどにおける使用も、非常に有益であると考えられる。

なお、本器の形状や調光システムについて、上記メンバーにより特許出願中である。また、平成 24 年度も共同研究を継続し、有効性を高めるために形状・システムを改良するとともに、臨床試験を計画している。近い将来、健康増進機器、医療機器として市販されることを目指している。

5 おわりに

本研究で、高い有効性が期待される、独創的な形状の擬似夜明け療法器を試作した。本器が市販され、人々の健康増進、疾病治療に役立つことを目指している。

文献

- (1) 三浦淳, 佐々木春喜. 夕方の高照度光療法が大うつ病エピソードに有効であった双極 II 型障害の一例. 精神医学 54 (5) (2012), p509-512.

医療系廃棄物の水熱反応分解処理工程での 放電脱臭技術開発

佐藤 孝紀*1, 石森 鋼男*2

1 はじめに

本研究は、医療系廃棄物の水熱反応分解プロセス中で生じる臭気物質を、放電プラズマ中の高エネルギー種、活性種、紫外線などを用いて分解・無臭化することを目的とする。水熱反応分解で生じる臭気物質のうち臭気しきい値が低いブチルアルデヒド、メチルメルカプタンなどをそれぞれ放電分解処理するとともに、これらの臭気物質を混合した模擬臭気ガス中でも放電プラズマを発生させ、分解率、生成物を測定する。

2 実験装置および実験条件

本研究では、パケットベッド放電を用いて臭気物質を分解する。また、イソブチルアルデヒド($(\text{CH}_3)_2\text{CHCHO}$, 臭気しきい値 0.0009 ppm), ブチルアルデヒド($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CHO}$, 臭気しきい値 0.0003 ppm) およびメチルメルカプタン(CH_3SH , 臭気しきい値 0.0001 ppm)を処理対象とする。以下に、使用する実験装置および実験条件について述べる。

2.1 実験装置の構成

図 2.1 および 2.2 は、実験装置の概要および写真をそれぞれ示す。実験装置は、電源(紺色)、計測・分析部(赤色)およびガス導入・排気部(緑色)から構成される。パケットベッド放電の発生に用いた電源は、インバーターネオトランス(小寺電子製作所製, 図 2.2(a), CR-N16)であり、入力端子間(白および黒色)に AC100V

を印加すると、出力端子間(灰色)に、 15 kV_{pp} の交流のように、駆動周波数 17kHz で出力されるが、50Hzの包絡線を描きながら振幅が変化する。

放電リアクタは、外径 $\phi 22\text{mm}$, 内径 $\phi 20\text{mm}$ ガラス管の中心に直径 $\phi 2.0\text{mm}$ のステンレス棒電極を挿入し、ガラス管内にガラスビーズまたは TiO_2 の粒を充填し、ガラス管外側にアルミ製網目(線径 0.3 mm, 16 mesh)を巻きつけたものである。窒素 - 酸素混合比を $\text{N}_2 : \text{O}_2 = 80 : 20\%$ とした合成空気に臭気物質を混合したガスを放電リアクタにフローさせた状態で、インバーターネオトランスを用いて棒電極と網目間に交流高電圧を印加し、充填材料とガラス内管の間および充填材料間にパケットベッド放電を発生させた。なお、網目側を接地している。

リアクタのオフガスをサンプリングバッグ(容量 3 L)に捕集し、これを光路長 10 m のガスセル(Infrared Analysis 製, 10PA)を装着したフーリエ変換赤外分光光度計(島津製作所製, FT-IR8900)およびガスクロマトグラフ質量分析計(島津製作所製, GCMS-QP2010Plus)を用いて分析した。

3 実験結果

3.1 パケットベッド放電

図 3.1 は、ガラスビーズおよび TiO_2 を充填したときのパケットベッド放電の様子を示す。ガラスビーズを充填したときの発光が TiO_2 を充填したときよりも強い。

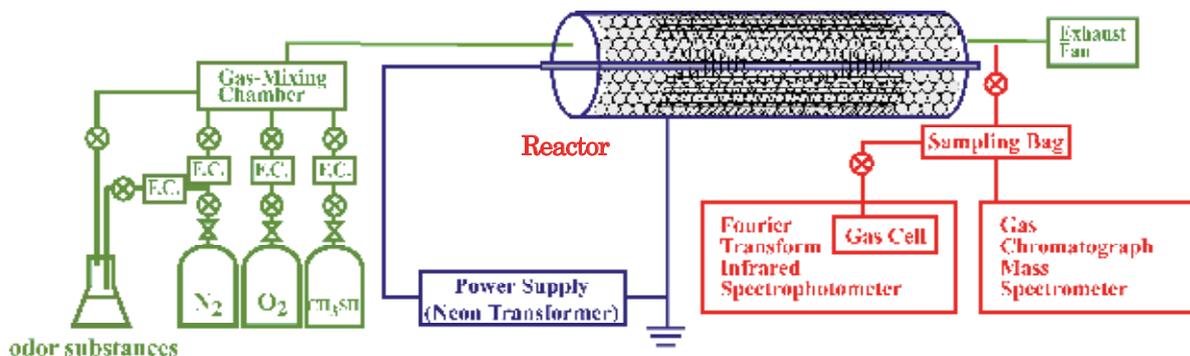


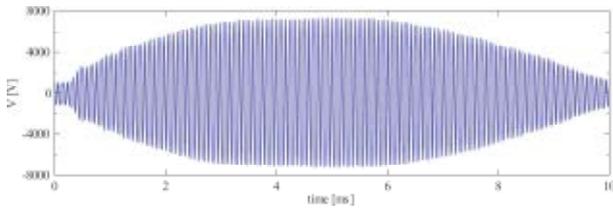
図 2.1 実験装置の概要

*1 もの創造系領域

*2 株式会社 EMI・代表取締役



(a) インバーターネオントランス



(b) 電圧波形



(c) 放電リアクタ

図 2.2 実験装置の写真と電圧波形

しかし、 TiO_2 が光を通さないことを考慮すると、これらの写真から充填材料による発生強度に関する特性を導くことはできない。

3.2 イソプチルアルデヒドの分解特性

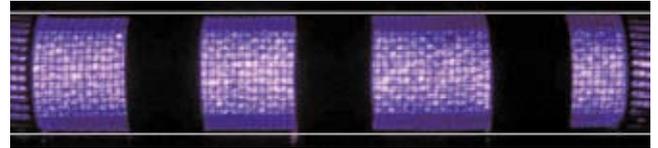
表3.1は、イソプチルアルデヒドをパケットベッド放電で分解したときの実験条件を示す。ここでは、充填材料としてガラスビーズおよび TiO_2 を用いるとともに、それらを50:50で混合した場合について調査する。また、充填材料のサイズを直径 $\phi 1, 2, 3, 4$ および 5 mm と変え、その影響についても調べている。

表 3.1 実験条件

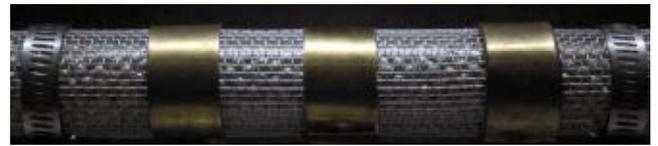
$\text{N}_2 : \text{O}_2$ 混合比 (体積比)	50 : 20 %
$(\text{CH}_3)_2\text{CHCHO}$ 初濃度	200 ppm
ガス流量	2.0 L/min
印加電圧	15 kV _{eff}



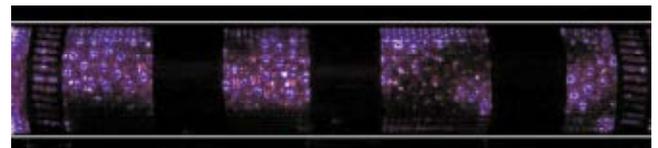
(a) 放電リアクタ (ガラスビーズ)



(b) 放電の様子 (ガラスビーズ)



(c) 放電リアクタ (TiO_2)



(d) 放電の様子 (TiO_2)

図 3.1 放電の様子

3.2.1 イソプチルアルデヒドの分解率および生成物の濃度

表 3.2 は、イソプチルアルデヒドの分解率および生成物の濃度を示す。

表 3.2 イソプチルアルデヒドの分解率および生成物の濃度

Packed bed	Size [mm]	Conversion rate [%]	Concentration [ppm]						
			CO_2	H_2O	CO	HCOOH	PAN	O_3	NO_x
glass beads	1	95.5	295.1	75.1	59.6	1.56	2.8	152.5	96.5
	2	91.9	293.6	80.9	59.7	1.56	3.1	205.7	156.2
	3	99.7	265.7	75.8	69.0	1.56	1.7	165.5	117.1
TiO ₂	1	98.1	274.1	82.1	72.2	1.1	1.1	165.9	88.2
	2	98.7	281.6	19.2	119.8	2.0	2.1	162.7	132.1
	3	96.9	285	25.1	48.0	-	-	15.7	25.8
TiO ₂ / glass beads	1	99.2	275.0	54.1	61.6	2.9	2.1	206.5	52.5
	2	94.8	284.5	57.5	72.2	11.5	2.4	565.3	27.5
	3	98.3	267.5	64.5	116.8	1.93	2.9	66.9	62.5
TiO ₂ / glass beads & TiO ₂	1&4	98.2	325.6	56.8	82.2	-	1.1	55.6	90.4
	2&4	95.5	350.0	53.4	51.7	14.8	2.3	687.2	90.4
TiO ₂ / glass beads & TiO ₂	1&5	99.9	284.5	51.4	77.9	17.6	1.7	417.7	88.5
	2&5	99.9	284.5	51.4	77.9	17.6	1.7	417.7	88.5

分解率は、 $\phi 1\text{mm}$ の TiO_2 を充填材料に用いた場合を除き、92%以上となった。充填材料の種類によらず、直径が

φ3mmの充填材料が適していることがわかる。脱臭効果を有するO₃濃度が、ガラスビーズを充填したときよりもTiO₂を充填した用いた方が高くなり、TiO₂を用いると、放電とO₃の両者による脱臭が可能と考えられる。

3.3 プチルアルデヒドの分解特性

表 3.3 は、プチルアルデヒドをパケットベッド放電で分解したときの実験条件を示す。

表 3.3 実験条件

N ₂ :O ₂ 混合比 (流量比)	80:20%
CH ₃ (CH ₂) ₇ CHO 初期濃度	200 ppm
ガス流量	2.0 L/min
印加電圧	15 kV _{pp}

3.3.1 プチルアルデヒドの分解率および生成物の濃度

表 3.4 は、プチルアルデヒドの分解率および生成物の濃度を示す。

表 3.4 プチルアルデヒドの分解率および生成物の濃度

Pulse width [μs]	Size [mm]	Transmission rate [%]	Concentration [ppm]						
			CO ₂	HNO ₃	CO	HCOOH	PAN	O ₃	N ₂ O
1000	1	95.5	212.1	41.1	32.6	10.6	2.9	332.5	6.2
	2	94.9	252.5	59.8	19.8	12.6	3.7	298.7	6.2
	3	95.7	282.1	48.8	12.2	12.6	2.7	362.5	6.2
	4	95.2	291.1	62.3	16.8	9.1	3.7	352.9	8.5
	5	95.2	272.2	30.7	17.8	6.9	2.1	362.5	11.4
100	1	62.7	179.2	42.5	48.6	-	-	75.5	14.8
	2	95.2	252.5	51.7	61.6	-	3.2	302.5	32.5
	4	94.8	264.4	61.5	72.2	3.9	3.2	382.3	57.5
	5	95.3	282.4	42.6	17.8	9.5	3.9	362.9	32.5
	Glass bed	1&2	95.2	262.5	48.8	32.2	-	3.2	322.9
3&4		95.6	352.5	35.4	51.7	-	3.9	372.4	56.5
5&6		94.9	324.5	69.4	32.3	3.8	3.2	402.8	58.5

分解率は94%以上となった。充填材料のサイズ、種類および分解率の関係は、イソプチルアルデヒドの場合と同様であることがわかった。

3.4 メチルメルカプタンの分解特性

表 3.5 は、メチルメルカプタンをパケットベッド放電で分解したときの実験条件を示す。これまでの実験結果(3.2 および 3.3)に基づき、充填材料に直径φ3 mm のTiO₂を用いた。ここでは、初期濃度およびガス流量が脱臭特性に与える影響を調査する。

表 3.5 実験条件

N ₂ :O ₂ 混合比 (流量比)	80:20%
印加電圧	15 kV _{pp}

3.4.1 メチルメルカプタンの分解率および生成物の濃度

表 3.6 は、メチルメルカプタンの分解率および生成物の濃度を示す。

表 3.6 メチルメルカプタンの分解率および生成物の濃度

Initial concentration [ppm]	Flow rate [L/min]	Decomposition rate [%]	Concentration [ppm]				
			CO ₂	HNO ₃	CO	O ₃	N ₂ O
0.1		0%	1.9	306.2	-	802.6	1.8
1.5		0%	3.5	164.5	-	576.5	15.4
1.5	1.5	0%	3.5	32.1	3.5	850.4	15.9
3.5		0%	15.3	184.5	3.5	870.3	1.7
3.5		0%	16.5	182.9	6.3	843.5	1.7
1.5	0.1	0%	10.1	306.2	8.4	765.9	16.3
	1.5	0%	3.5	95.6	3.6	578.3	5.5

メチルメルカプタンの初期濃度およびガス流量の条件では、放電後のクロマトグラムにおいて、メチルメルカプタンのピークが見られないとともに、放電後のオフガスには、メチルメルカプタンのにおいがなかったことから、分解率を100%とした。生成物については、表中のものが検出されたが、SO₂は検出されていない。

4 まとめ

パケットベッド放電を用いて、合成空気に混合させたイソプチルアルデヒド、プチルアルデヒドおよびメチルメルカプタンを分解し、その特性を調査した。以下に結果を要約する。

- (1) 本研究で試作したリアクタにネオントランスで高電圧を印加することで、パケットベッド放電を発生できる。
- (2) パケットベッド放電により、合成空気に混合した微量のイソプチルアルデヒド、プチルアルデヒドおよびメチルメルカプタンを少なくとも97%以上の割合で分解できる。
- (3) イソプチルアルデヒドの分解では、CO₂、CO、HNO₃、HCOOH、PAN、O₃、N₂O が生成され、CO₂およびO₃が主な生成物となる。
- (4) プチルアルデヒドの分解では、CO₂、CO、HNO₃、HCOOH、PAN、O、N₂O が生成され、CO₂およびO₃が主な生成物となる。
- (5) メチルメルカプタンの分解では、CO₂、CO、HNO₃、O₃、N₂O が生成され、HNO₃、O₃およびN₂Oが主な主成分である。

ペポカボチャに含まれる栄養成分の評価 および新規活性成分の探索研究

上井 幸司*¹

1 はじめに

本研究は、北海道伊達市で栽培されているペポカボチャ (*Cucurbita pepo*) が含有する栄養成分の検討や、それに含まれる新しい成分の探索により、単なる食品としてではなく、健康に貢献できる新しい魅力ある食品として本食物をアピールするための基盤を整えることを目的とする。

研究に使用したペポカボチャは、ソウメンカボチャとも呼ばれ、通常、完熟果を茹でて果肉から繊維を取り、三杯酢やソースで食したり、種子をつまみや菓子のトッピング、パンプキンオイルの原料に用いる等して利用される。これまでに、ペポカボチャの種子にはタンパク質やβ-カロテン、脂肪酸類、セレンなどのヒトにとって重要な栄養素の他にも、前立腺肥大症に有効なエストロゲン様物質等が含有されていることが報告されているが⁽¹⁾、伊達産のペポカボチャの含有成分を改めて分析することにより、新たな観点から食品価値を見出し、地域産業の発展に寄与したいと考えている。

なお、本研究は(株)阿部産業の阿部萬千雄氏よりペポカボチャの提供を受け、その成分分析を室蘭工業大学が担当してプレ共同研究を進めた。

2 実験方法

2.1 使用材料と試薬

ペポカボチャは、北海道伊達市の(株)阿部産業敷地内で2011年秋に収穫されたものを使用した。試薬は、珪藻土として Celite545 RVS (Nacalai Tesque) を、耐熱性α-アミラーゼは Novo 社製、termamyl 120L を、プロテアーゼは、Sigma 社製、85968 を、アミログルコシダーゼは Sigma 社製、A-9913 を使用し、その他の試薬、

溶媒は特級のものを使用した。

2.2 試験材料の準備

ペポカボチャ (789.0 g) を約 3 cm の厚さに輪切りにし、鍋中で超純水 900 mL に浸し、沸騰するまで加熱した。沸騰後、そのままさらに 10 分間加熱した後、カボチャを冷水にさらして、種 (湿重量: 41.3 g)、果肉 (繊維 (湿重量: 425.0 g))、果皮 (湿重量: 223.0 g) に分離した。また、茹で汁とカボチャをさらした水をあわせて凍結乾燥し、残渣を得た (30.4 g)。

また、得られた種、果肉、果皮の一部を細断後、それぞれエタノールで抽出し、エタノールエキスを得た。

2.3 食物繊維量の定量

食物繊維量の測定は、五訂増補日本食品標準成分分析マニュアルのプロスキー変法 (2) に従った⁽²⁾。以下、実験方法を簡潔に記す。

試料を凍結乾燥し、各試料 1 g (*W*) を 0.08 mol/L リン酸緩衝液 (pH 6.0) 50 mL および耐熱性α-アミラーゼ 0.1 mL とともに 95°C で 30 分加熱後、0.275 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液で pH7.5 に調整し、プロテアーゼ溶液 0.1 mL を加えて 60°C で 30 分間反応させた後、さらに 0.325 mol/L 塩酸水溶液で pH4.3 としてアミログルコシダーゼ 0.1 mL を加えて 60°C で 30 分反応した。

反応溶液を、珪藻土層を形成したガラス濾過器で濾過し、残渣 (R_1) を得、ろ液に 4 倍量の 95% エタノールを加えて 60 分間放置し、水溶性食物繊維を沈殿させた。沈殿を珪藻土層を形成したガラス濾過器で濾過し、残渣 (R_2) を得た。残渣 (R_1 および R_2) をそれぞれガラス濾過器ごと 525±5°C で灰化处理し、灰分量 A_1 および A_2 を得た。

また、試料を含まない系で同様に処理し空試験値 (R_{B1} , A_{B1} , R_{B2} , A_{B2}) をそれぞれ得た。

以上の試験によって得られた値から、以下の式によって水溶性食物繊維と不溶性食物繊維の含量を計算し、さらにペポカボチャ 1 個あたりの食物繊維量を求めた。

*1 暮らし環境系領域

水溶性食物繊維含量 (g/100 g)

$$= \frac{R_1 - A_1 - B_s}{W} \times 100$$

ここで B_s (g) = $R_{B1} - A_{B1}$

不溶性食物繊維含量 (g/100 g)

$$= \frac{R_2 - A_2 - B_1}{W} \times 100$$

ここで B_1 (g) = $R_{B2} - A_{B2}$

原試料中の食物繊維含量 (g/100 g)

$$= D \times \left(1 - \frac{W_D}{100} \right)$$

D : 前述 2 つの式で得られた水溶性, または不溶性食物繊維含量 (g/100 g)

W_D : 乾燥減量 (%)

2.4 カロテン類とβ-クリプトキサンチンの定量

α-およびβ-カロテンとβ-クリプトキサンチンの測定は, 五訂増補日本食品標準成分分析マニュアル⁽²⁾に従った。以下, 実験方法を簡潔に記す。

α-カロテン標準品の 0.25, 0.5, 1.0 および 2.0 μg/mL, β-カロテン標準品の 0.5, 1.0, 2.0 および 4.0 μg/mL, β-クリプトキサンチン標準品の 0.25, 0.5, 1.0 および 2.0 μg/mL 溶液を調製し, 標準溶液とした。

測定試料の調製は, 試料 0.5-10 g (W) をエタノール抽出して得られた抽出液を定容し, 60% (w/v) 水酸化カリウム水溶液を加えて 56°C で 20 分間けん化した。反応溶液に 1% (w/v) 塩化ナトリウムおよび 2-プロパノールを加え, 酢酸エチル-*n*-ヘキサン混液 (1:9 v/v) にて抽出し, 有機層を減圧下溶媒留去した。残渣をエタノールに溶解し, 試料溶液 (V) とした。

各成分は高速液体クロマトグラフ法により定量した。

測定条件は, ポンプとして Jasco PU-2080 Plus (日本分光), 検出器として Jasco UV-2075 Plus (日本分光), カラムは Mightysil RP-18 GP Aqua 150-4.6 (3 μm) (関東化学) を使用し, 移動相として 50 μg/mL のパルミチン酸アスコルビルを含有したクロロホルム-メタノール溶液 (4:96 v/v) を流速 1.5 mL/min で通導し, 波長 455 nm にて検出した。なお, 各成分の保持時間はα-カロテン: 19.4 分, β-カロテン: 21.7 分, β-クリプトキサンチン: 6.5 分であった。

標準溶液の測定から得られた検量線より試料溶液の各成分濃度を求め, 以下の式によってα-およびβ-カロテンとβ-クリプトキサンチンの含量を計算し, さらにペポカボチャ 1 個あたりの量を求めた。

α-, β-カロテンまたはβ-クリプトキサンチン含量 (μg/100 g)

$$= \frac{C \times V \times N \times 100}{W}$$

C : 検量線より求めた試料溶液中の成分濃度 (μg/mL)

V : 試料溶液量 (mL)

N : 希釈倍数

W : 試料採取量 (g)

3 実験結果

3.1 食物繊維量の定量

実験方法 2.1 により得られたペポカボチャに含まれる食物繊維量を表 3.1 に示す。

食物繊維は, 主に不溶性食物繊維によって構成されているが, 細胞壁の主要構成要素であるため, 水溶性食物繊維と比べて不溶性食物繊維の存在比が大きい。分離部位毎の食物繊維量に注目すると, そうめんとして食する果肉やそのまま食される種にも多くの食物繊維が含まれていることが明らかとなった。特に単位重量あたりの食物繊維量は種に多い。また, 本研究ではペポカボチャを食する場合の一般的な調理法に則り試

表 3.1 ペポカボチャ中の食物繊維 (1 個あたり)

	水溶性食物繊維 (g)	不溶性食物繊維 (g)	灰分 (g)	湿重量 (g)	乾燥重量 (g)
果皮	0.448	5.330	1.207	223.0	11.8
果肉	0.649	3.324	0.901	425.0	11.9
種	0.333	6.338	0.730	41.3	13.0
茹で汁残渣	0.523	0.625	3.160	30.2	24.2
総量	1.953	15.617	5.998	689.3	67.1

表 3.2 ペポカボチャ中のカロテン、クリプトキサンチン量（1個あたり）

	α -カロテン (μg)	β -カロテン (μg)	β -クリプトキサンチン (μg)
果皮	N.D.	46.5	N.D.
果肉	N.D.	38.2	N.D.
種	N.D.	27.0	N.D.
茹で汁残渣	N.D.	604.1	N.D.
総量	-	715.8	-

料を処理したが、このうち可食部である果肉と、茹で汁残渣の食物繊維量を合算すると、水溶性食物繊維：1.172 g (100 g あたり 0.388 g)、不溶性食物繊維：3.949 g (100 g あたり 0.868 g) であり、この値は五訂増補日本食品標準成分表⁽³⁾の値（水溶性食物繊維：100 g あたり 0.3 g、不溶性食物繊維：100 g あたり 1.2 g）と同じ傾向にあることが明らかとなった。

また、灰分測定法での分析によるものではないが、本研究から、ナトリウム、カリウム、鉄などの無機質の多くは茹でることにより茹で汁へと溶出されることが示唆された。

3.2 カロテン類と β -クリプトキサンチンの定量

実験方法 3.1 により得られたペポカボチャに含まれる食物繊維量を表 3.2 に示す。

カロテノイドのうち、本研究では β -カロテンのみが検出された。果肉の結果について評価すると、五訂増補日本食品標準成分表⁽³⁾に記載されているデータ（可食部 100 g あたり β -カロテン 49 μg ）よりも低い。ここで、本研究では可食部である果肉は茹でた後に分離したもので、100 g あたりの β -カロテンは9 μg である。従って、測定値の違いは、繊維外に存在していた β -カロテンが茹で汁中に溶出している可能性が示唆された。また、 β -カロテンは加熱により異性化⁽⁴⁾または熱分解⁽⁵⁾するという報告もあるが、これについては今後更なる検討が必要である。

4 まとめ

北海道伊達市産ペポカボチャを用いて、食物繊維量およびカロテン類と β -クリプトキサンチンの定量を行った。

五訂増補日本食品標準成分表⁽³⁾では、茹でた状態での成分分析が行われていない。本研究では、実際に食するように熱水で茹でる操作を行い、ペポカボチャ中の栄養成分が標準成分量と異なることが示唆された。

ペポカボチャに含有する食物繊維量は、食用に供する果肉や種に多く含まれていることが明らかとなった。

食物繊維は、ヒトに体する多くの有用性が知られている。例えば、水溶性食物繊維は肥満防止、コレステロール吸収抑制、血糖値上昇抑制等の効果が、不溶性食物繊維は大腸機能の亢進等の効果が報告されている⁽⁶⁾。水溶性食物繊維は、胃内で膨張し、満腹感を与えると考えられており、本研究で使用した果肉は、茹でることにより多少の溶出による減少はあるものの、乾燥後その重量は 2.8% まで減少したことを考慮すると、糖質等の他成分の含有量を考慮する必要があるが、ペポカボチャを無理のない減量のための食事として利用できる可能性がある。

また、ペポカボチャは、現在一般的に食されるセイヨウカボチャ(*Cucurbita maxima*)に比べると少ないものの、カロテノイドを含有する⁽³⁾。ペポカボチャに含まれる β -カロテンはビタミン A の前駆体であり、網膜細胞の保護や細胞分化作用等が知られている。また、 β -カロテンも抗酸化作用を有している。

以上、今後の更なる栄養成分および新規な含有化合物の研究とその活用性の検討により、ペポカボチャの新しい魅力を見出されることが期待される。

5 引用文献

- (1) M. Friederic, C. Theurer, G. Schiebel-Schlosser, Prosta Fink Forte capsules in the treatment of benign prostatic hyperplasia. Multicentric surveillance study in 2245 patients, *Forsch Komplementarmed Klass Naturheilkd*, **7(4)** (2000), p200-204.
- (2) 安本 教傳, 安井 明美, 竹内 昌昭, 渡邊 智子編, 五訂増補 日本食品標準成分表 分析マニュアル, 建帛社, 2006 年 5 月
- (3) 文部科学省, 五訂増補 日本食品標準成分表, 第 2 章 五訂増補 日本食品標準成分表 (本表), 6 野菜類, http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/05031802/002/006.pdf
- (4) L. A. Chandler, S. J. Schwartz, Isomerization and losses of trans- β -carotene in sweet potatoes as affected by processing treatments, *J. Agric. Food Chem.*, **36 (1)** (1988), p129-133.
- (5) P. Kanasawud, J. C. Crouzet, Mechanism of formation of

volatile compounds by thermal degradation of carotenoids in aqueous medium. 1. .beta.-Carotene degradation, *J. Agric. Food Chem.*, **38** (5) (1990), p1238-1242.

- (6) J. M. Jones, Dietary Fiber Future Directions: Integrating New Definitions and Findings to Inform Nutrition Research and Communication, *Adv. Nutr.*, **4** (2013), p8-15.

ステンレス・フレキシブルチューブの健全性評価

藤木 裕行^{*1}, 臺丸谷 政志^{*2}, 清水 茂夫^{*3}

Numerical Study on Characteristics of Stress in Ω -Shaped Tubular Bellows

概要

管状ベローズは構造物のエネルギーや変位を吸収するための機械装置である。管状ベローズは振動、熱膨張、さらに部品の円周・半径・軸方向変位等に対応するために広く使用されている。本研究では、近年開発され実際に利用されている Ω 型管状ベローズの応力特性を数値的に検討した。ベローズは内圧やたわみ荷重を受けており、そのときの応力状態を従来のU型ベローズならびにトロイダル型ベローズと比較した。数値解析にはソリッド要素を用い、二次元軸対象モデルで弾性解析を行った。ベローズの寸法は、内径 $r_i=64\text{mm}$ 、外形 $r_o=77\text{mm}$ 、ピッチ $q=11.5\text{mm}$ 、肉厚 $t=0.45\text{mm}$ とし、 $E=193\text{GPa}$ と $\nu=0.3$ の特性を持つSUS321で作られている。その結果、数値解析結果は理論結果とよく一致することが示され、ベローズの中で最も重要な応力は子午線方向応力であることがわかった。 Ω 型管状ベローズの子午線方向応力はU型のものよりも低いが、トロイダル型ベローズよりも高くなった。

1 INTRODUCTION

Tubular bellows is a mechanical device for absorbing energy or displacement in structures. It is widely used to deal with vibrations, thermal expansion, and the angular, radial, and axial displacements of components. It has been used for a long time in many engineering applications, therefore, numerous papers dealt with bellows have found in literatures. Many design formula of bellows can be found in ASME code⁽¹⁾. And the most comprehensive and widely accepted text on bellows design is the Standards of Expansion Joint Manufactures Association, EJMA⁽²⁾. The study on characteristics of stress can be found in the following papers. Shaikh et al.⁽³⁾ have performed an experimental work to

analyze failure of an AM 350 steel bellows. It is shown that the exposure of bellows to a marine atmosphere during a storage period of 13 years is suspected to have caused the pitting. Browman et al.⁽⁴⁾ have determined dynamic characteristics of bellows by manipulating certain parameters of beam finite elements of a commercial software. It is reported that, in comparison with the semi-analytical, their method has potential of considering axial, bending, and torsion degrees of freedom simultaneously, and the rest of the system, also modeled by beam or shell finite elements. The procedure was also verified by experimental results. Li⁽⁵⁾ has investigated the effect of the elliptic degree of Ω -shaped bellows toroid on its stresses. The calculated stress results of Ω -shaped bellows with elliptic toroid correspond to experiments. The elliptic degree of Ω -shaped toroid affects the magnitude of internal pressure-induced stress and axial deflection-induced stress. Especially, it produces a great effect on the pressure-induced stress. In order to keep the bellows strength and maintain its fatigue life, the toroid elliptic degree should be reduced greatly in manufacturing process, for example, at least lower than 15%. Becht⁽⁶⁾ evaluated the EJMA stress calculations for unreinforced bellows. Parametric analyses were conducted using linear axisymmetric shell elements. The analyses were carried out using commercial code finite element analysis. The prediction of meridional bending stress due to internal pressure and axial displacement were found to be accurate. However, prediction of membrane stress was found to deviate significantly from the finite element results.

Some recent works focused on manufacturing process of bellows are also found. Faraji et al.⁽⁷⁾ reported evaluation of effective parameters in metal bellows forming process. The FEM commercial code LS-DYNA has been used and the results were compared with experiments. Faraji et al.⁽⁵⁾ used a commercial FEM code ABAQUS Explicit to simulate manufacturing process of metal bellows. The objective is to

*1 もの創造系領域機械科学ユニット

*2 特任教授

*3 トーフレ株式会社経営企画室

find the optimum design parameters. Kang et al.⁽⁶⁾ proposed the forming process of various shape of tubular bellows using a single-step hydroforming process. The conventional manufacturing of metallic tubular bellows consists of four-step process: deep drawing, ironing, tube bulging, and folding. In their study a single step tube hydroforming combined with controlling of internal pressure and axial feeding was proposed.

Those reviewed papers show that there are needs for rigorous analysis and forming parameters of bellows. It is stated that the Ω -shaped bellows have much better ability to endure high internal pressure than common U-shaped bellows. Their reliability and economy are remarkable in higher internal pressure situation⁽⁵⁾. As a note, there are two types of Ω -shaped bellows are usually found, toroidal bellows and conventional Ω -shaped bellows. However, in literatures only design equations for toroidal bellows are found. In this paper the characteristics of stress of conventional Ω -shaped of bellows will be analysed numerically. The resulted stresses will be compared with those of conventional U-shaped bellows and toroidal bellows.

2 METHOD

Geometry of a considered bellows is depicted in Fig. 1. In general, it is a tubular with inside diameter of D_b and consists of several convolutions. In the figure, four convolutions are shown and the bellows pitch is q . The shape of the bellows convolution can be divided into conventional U-shaped, Ω -shaped, and toroidal bellows. These shapes are depicted in Fig. 2. In the present work, single ply bellows are only considered.

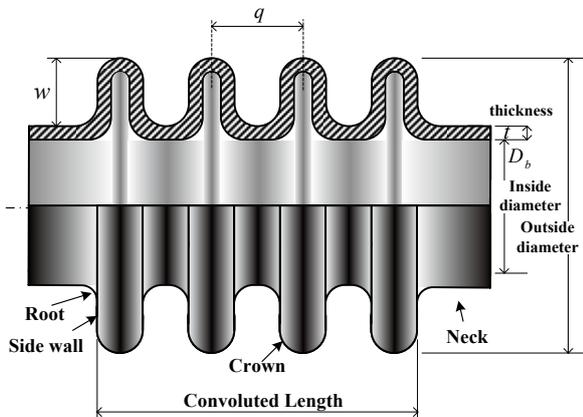


Fig. 1 Geometry of bellows

According to EJMA⁽²⁾, there are five design equations usually used in bellows. They are circumferential membrane stress due to internal pressure (S_2), meridional membrane stress due to internal pressure (S_3), meridional bending stress due to internal pressure (S_4), meridional membrane stress due to deflection (S_5), and meridional bending stress due to deflection (S_6). These design equations will be used in this paper.

2.1 Design equations for U-shaped bellows

The bellows circumferential stress due to internal pressure (P) is calculated based on equilibrium considerations. The equation for bellows circumferential membrane stress is:

$$S_2 = \frac{PD_m}{2t} \left(\frac{1}{0.571 + 2w/q} \right) \quad (1)$$

where D_m is mean diameter of bellows convolutions. It is defined as $D_m = D_b + w + t$.

The bellows meridional membrane stress due to internal pressure is calculated based on the component of pressure in axial direction acting on the convolution divided by the metal area of root and crown. It is calculated by the following equation:

$$S_3 = \frac{Pw}{2t} \quad (2)$$

The bellows meridional bending stress due to internal pressure (S_4) is calculated by:

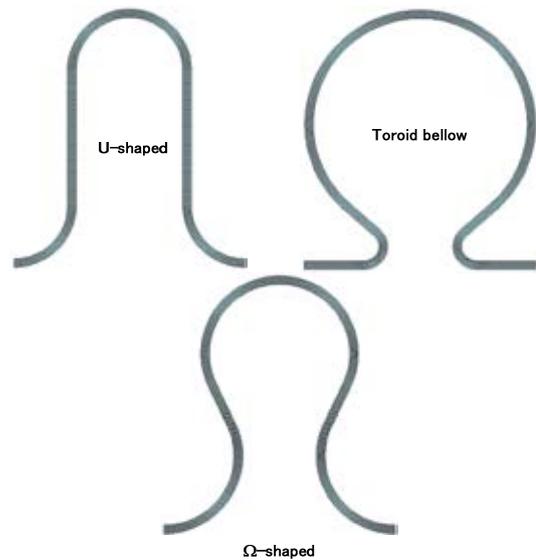


Fig. 2 Convolution shape of bellows

$$S_4 = \frac{P}{2} \left(\frac{w}{t} \right)^2 C_p \quad (3)$$

The bellows meridional membrane stress (S_5) and meridional bending stress (S_6) due to deflection (e) are calculated by the following equations, respectively:

$$S_5 = \frac{E_b t^2 e}{2w^2 C_f} \quad (4)$$

$$S_6 = \frac{5E_b t^2 e}{3w^2 C_d} \quad (5)$$

where C_p , C_f , and C_d are the factors to calculate S_4 , S_5 and S_6 , respectively. They are provided as diagram and table in EJMA⁽²⁾. And E_b is Modulus of Elasticity of the bellows.

2.2 Design equations for toroidal bellows

For toroidal bellows, meridional membrane stress due to pressure is calculated by:

$$S_3 = \frac{Pr}{t} \left(\frac{D_m - r}{D_m - 2r} \right) \quad (6)$$

Here r is mean radius of toroidal bellows convolution and D_m is the median diameter of bellows convolution.

Membrane stress of the bellows due to deflection is calculated by:

$$S_5 = \frac{E_b t^2 e}{34.5r^3} B_1 \quad (7)$$

The bellows meridional bending due to deflection is calculated by:

$$S_6 = \frac{E_b t e}{34.3r^2} B_2 \quad (8)$$

B_1 and B_2 are factors provided in appendix I of EJMA⁽²⁾.

2.3 Numerical simulation

In this study, ANSYS code is used to carry out numerical simulation. Structural solid element 8-node Plane183 is employed. Elastic analyses were carried out on a full convolution of the bellows with axisymmetric model. The computational domain is divided into 10 elements in thickness and 500 elements in length. The proper number elements test was performed, where 800 elements in length was tested. The results showed essentially the same. Therefore, the model with elements 10×500 is used in all analyses.

In the present analyses, a conventional Ω -shaped bellows available in market with nominal diameter 125A is picked to be analyzed⁽⁹⁾. The bellows inside diameter is 128 mm with outside diameter of 154 mm, thickness of 0.45 mm, pitch of 11.5 mm, and height is 12.5 mm. The bellows material is made of stainless steel SUS 321 with the modulus of elasticity of 193 GPa and poisson's ratio of 0.3. The model of Ω -shaped bellows and its constraints are presented in Fig. 3. In the present work, the internal pressure (P_i) and axial deflection are only considered. In Fig. 3, the constraints due to internal pressure are only presented. For toroidal bellows the radius of the toroidal convolution is assumed to be $r = 5.5$ mm.

3 RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1 Numerical validations

In order to validate the present numerical method a comparison test is performed. Since, solid element is used, the stress resulted from FEM is a local stress. However, the design equations result in averaged stress. Thus, the FEM stresses shown in comparison are the linearized one. The meridional membrane stress and meridional bending stress due to internal pressure of U-shaped bellows and toroidal bellows were calculated. The applied internal pressures are 1 MPa, 1.5 MPa, and 2 MPa, respectively. The results are presented in Table 1. In the table, the results from analytical solutions by EJMA equations are also presented. The comparisons show a good agreement.

The meridional membrane stress and meridional

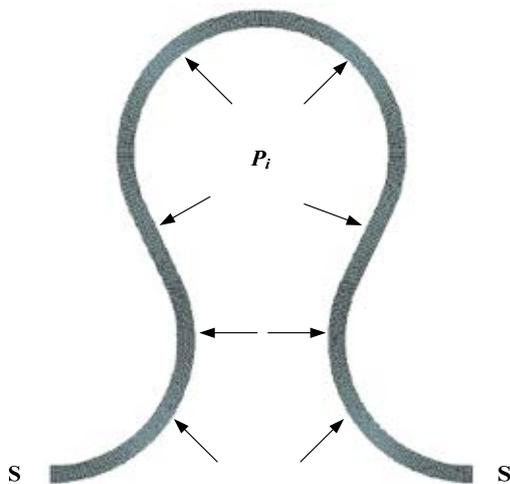


Fig. 3 A convolution computational model and its constrains

bending stress due to axial deflections are presented in Table 2. The applied axial deflections are 0.5 mm, 0.75 mm, and 1 mm, respectively. In the table, the results from analytical solution by EJMA equations are also presented. The comparisons for U-shaped bellows show a good agreement. However, for toroidal bellows the analytical solutions show a significant discrepancy. The discrepancy caused by the factors B_1 and B_2 provided by EJMA⁽²⁾. Thus, further

Table 1 Analytic and FEM stresses due to internal pressure

Type of Bellows	Stress	Internal Pressure [MPa]		
		1	1.5	2
U-shaped bellows	S_3 (Eq. (2))	13.889	20.833	27.778
	S_3 (FEM)	13.032	19.572	26.137
	Ratio	0.938	0.939	0.94
	S_4 (Eq. (3))	251.00	376.50	502.01
	S_4 (FEM)	241.91	360.33	477.7
	Ratio	0.964	0.957	0.952
Toroidal bellows	S_3 (Eq. (6))	12.733	19.099	25.466
	S_3 (FEM)	13.596	20.366	27.128
	Ratio	1.068	1.066	1.065

Table 2 Analytic and FEM stresses due to deflection

Type of Bellows	Stress	Axial Deflection [mm]		
		0.5	0.75	1.
U-shaped bellows	S_5 (Eq. (4))	3.252	4.877	6.503
	S_5 (FEM)	3.389	5.169	7.02
	Ratio	1.042	1.059	1.079
	S_6 (Eq. (5))	265.66	398.49	531.32
	S_6 (FEM)	239.49	357.85	476.05
	Ratio	0.901	0.898	0.896
Toroidal bellows	S_5 (Eq. (7))	7.239	10.858	14.477
	S_5 (FEM)	3.686	5.481	7.254
	Ratio	0.509	0.505	0.501
	S_6 (Eq. (8))	250.97	376.45	501.94
	S_6 (FEM)	172.65	254.41	333.71
	Ratio	0.688	0.677	0.665

study need to be performed to evaluate those factors. This is beyond the objective of the present paper.

In general, the present numerical method shows good agreement with results by EJMA equations, except for the toroidal bellows. Therefore, the method can be used to evaluate the characteristics of stress distributions in Ω -shaped bellows.

3.2 Comparison of design stresses of all bellows

The present numerical method is now used to evaluate characteristics of stress for all bellows. The first comparison is meridional membrane stress due to internal pressure. The applied internal pressures are 1 MPa, 1.5 MPa, and 2 MPa, respectively. The results are presented in Fig. 4. The figure shows that meridional membrane stress in Ω -shaped bellows

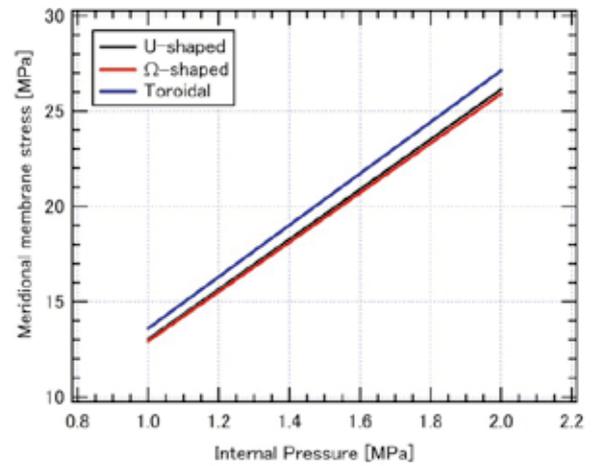


Fig. 4 Meridional membrane stresses due to internal pressure

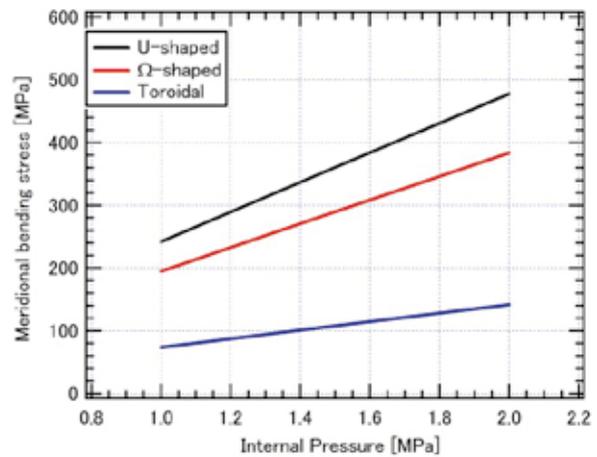


Fig. 5 Meridional bending stresses due to internal pressure

is lower than in toroidal bellows, but same value as U-shaped bellows.

The comparisons of meridional bending stress of all considered bellows due to internal pressure are presented in Fig. 5. The figure shows that meridional bending stresses are higher than meridional membrane stresses. This suggests that meridional bending stress is more destructive than meridional membrane stress. The meridional bending stress of Ω -shaped bellows is lower than U-shaped bellows, but it is higher than toroidal bellows.

The comparisons of meridional membrane stress of all considered bellows due to axial deflection are presented in Fig. 6. The applied axial deflections are 0.5 mm, 0.75 mm, and 1 mm, respectively. The figure shows that meridional membrane stress in Ω -shaped bellows is lower than in toroidal and U-shaped bellows.

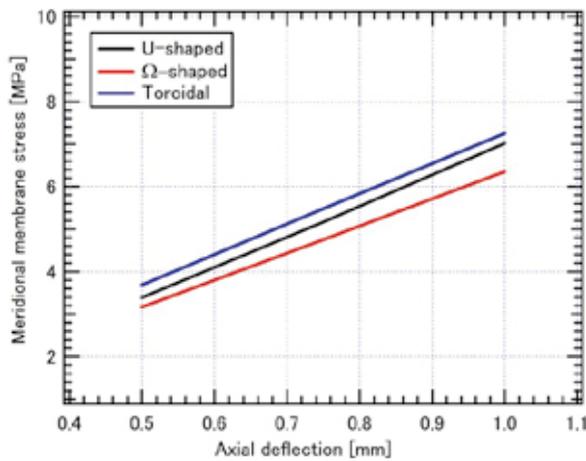


Fig. 6 Meridional membrane stresses due to axial deflection

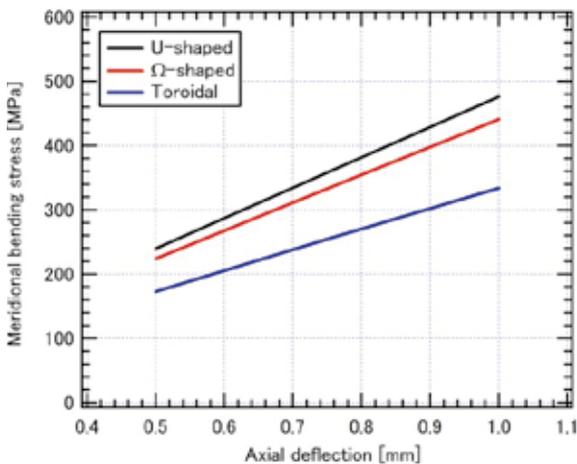


Fig. 7 Meridional bending stresses due to axial deflection

The comparisons of meridional bending stress of all bellows due to axial deflection are presented in Fig. 7. Here, the meridional bending stresses are higher than meridional membrane stresses. This also suggests that meridional bending stress is more destructive than meridional membrane stress. The figure shows that meridional bending stress of Ω -shaped bellows is lower than U-shaped bellows, but it is higher than toroidal bellows.

Those comparisons reveal that the most destructive stress in bellows due to internal pressure and axial deflection is meridional bending stress. Furthermore, for both internal pressure and axial deflections the meridional bending stress of Ω -shaped bellows is lower than U-shaped bellows, but it is higher than toroidal bellows. Thus, Ω -shaped bellows is expected to have longer operational life than U-shaped bellows.

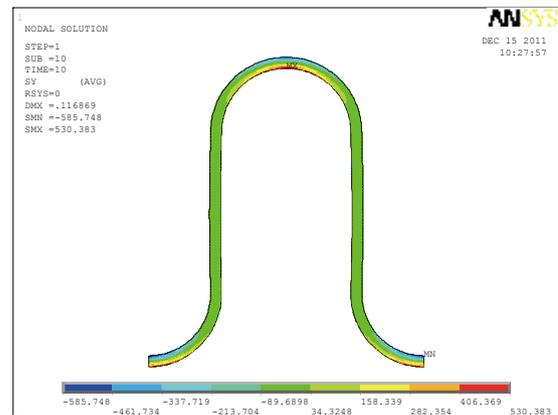


Fig. 8 Axial stress distribution on U-shaped bellows due to internal pressure of 2 MPa

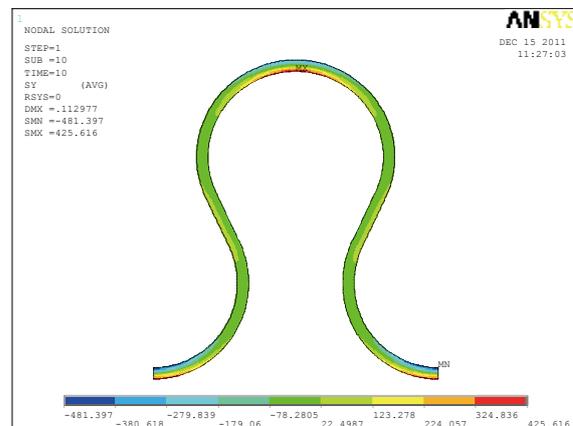


Fig. 9 Axial stress distribution on Ω -shaped bellows due to internal pressure of 2 MPa

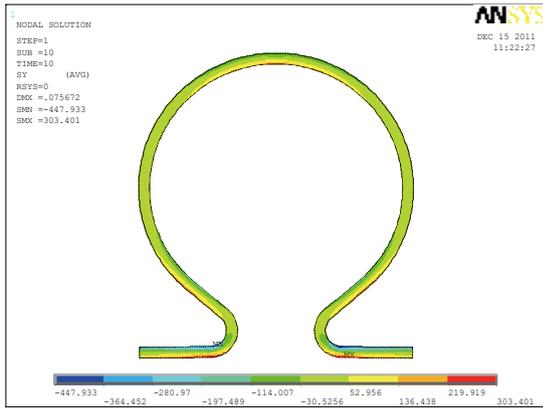


Fig. 10 Axial stress distribution on toroidal bellows due to internal pressure of 2 MPa

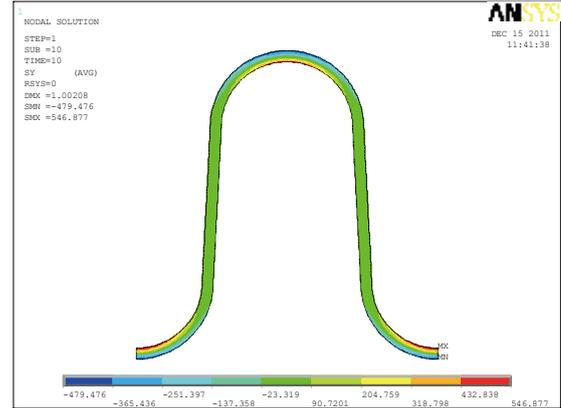


Fig. 11 Axial Stress distribution on U-shaped bellows due to axial deflection of 1 mm

3.3 Stress distributions due to internal pressure

The axial stress distributions in the bellows due to internal pressure of 2 MPa for U-shaped, Ω -shaped, and toroidal bellows are presented in Fig. 8, Fig. 9, and Fig. 10, respectively. It can be said that U-shaped and Ω -shaped bellows show the similar distribution but they are different from toroidal bellows. In the U-shaped and Ω -shaped bellows, the maximum axial stress takes place on the crown part. In the toroidal one, it takes places on the root part.

3.4 Stress distributions due to axial deflection

The axial stress distributions in the bellows due to axial deflection of 1 mm for U-shaped, Ω -shaped, and toroidal bellows are presented in Fig. 11, Fig. 12, and Fig. 13, respectively. Those figures show that there is no significant different from all bellows.

4 CONCLUSIONS

The numerical study on characteristics of stress in Ω -shaped bellows has been performed. The design stresses and distributions are compared with U-shaped and toroidal bellows. The main conclusion is that the most destructive stress in bellows due to internal pressure and axial deflection is meridional bending stress. Furthermore, for both internal pressure and axial deflections the meridional bending stress of Ω -shaped bellows is lower than U-shaped bellows, but it is higher than toroidal bellows. Thus, Ω -shaped bellows is expected to have longer operational life in comparison with U-shaped bellows.

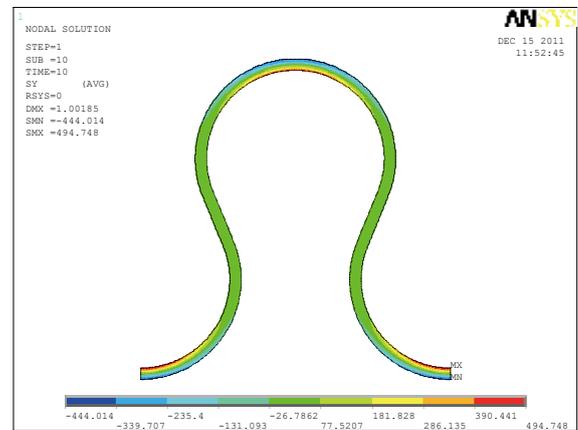


Fig. 12 Axial Stress distribution on Ω -shaped bellows due to axial deflection of 1 mm

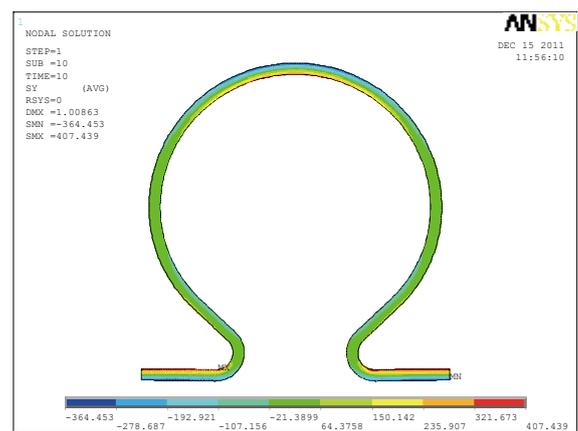


Fig. 13 Axial Stress distribution on toroidal bellows due to axial deflection of 1 mm

REFERENCE

- (1) ASME, ASME Boiler and Pressure Vessel Code-Section VIII, Division 1, Appendix 26 – Pressure Vessel and Heat Exchanger Joints, New York, 2000.
- (2) EJMA, Standards of Expansion Joint Manufacturers Association, ninth edition, New York, 2008.
- (3) Shaikh, H. George, G., and Khatak, H.S., Failure analysis of an AM 350 steel bellows, Engineering Failure Analysis, Vol 8, (2001), p571-576.
- (4) Broman, G.I., Jonsson, A.P., and Hermann, M.P., Determining dynamic characteristics of bellows by manipulated beam finite elements of commercial software, International Journal of Pressure Vessels and Piping, No. 77, (2000), p445-453.
- (5) Li, T., Effect of the elliptic degree of Ω -shaped bellows toroid on its stresses, International Journal of Pressure Vessels and Piping 75, (1998), p951-954.
- (6) Faraji, Gh., Mashhadi, M.,M., and Norouzifard, V., Evaluation of effective parameters in metal bellows forming process, Journal of Materials Processing Technology, No 209, (2009), p3431-3437.
- (7) Faraji Gh., Besharati, M.K., Mosavi, M., and Kashanizadeh, H., Experimental and finite element analysis of parameters in manufacturing of metal bellows, Int. Journal of Manufacturing Technology, No 38, (2008), p641-648.
- (8) Kang, B.H., Lee, M.Y, Shon, S.M., and Moon, Y.H., Forming various shapes of tubular bellows using a single-step hydroforming process, Journal of Materials Processing Technology, No 194, (2007), p1-6
- (9) TOFLE, Expansion Joints, Company Profile, TOFLE Co. Inc., OSAKA, 2011.

【フロンティア技術検討会】

フロンティア技術検討会

講演録

【日 時】 平成23年10月19日(水) 14時～17時15分

【場 所】 中嶋神社 蓬峯殿(室蘭市)

【参加者】 104名

【講演会】

テーマ 「企業のリスク管理の考え方とその実践」

【開会挨拶】

室蘭工業大学 理事・副学長

野口 徹

【講演】

講演1 「企業のリスクマネジメントについて」 14:05～15:15

東京海上日動リスクコンサルティング(株)

経営企画室 主席研究員

指田 朝久

講演2 「中小企業の事業継続計画(BCP)について」 15:25～16:35

東京海上日動リスクコンサルティング(株)

ビジネスリスク事業部 事業継続グループ 主任研究員

川原場 正義

講演3 「事故からの克服とその後のリスク管理」 15:35～17:15

(株)西野製作所 代表取締役社長

西野 義人

開会挨拶

室蘭工業大学 理事・副学長 野口 徹

フロンティア技術検討会・大学企業技術交流会は、意見交換をはかる場として設けられたものでして、今回で十数回目と聞いております。このポスターにありますように、主催は室蘭地域産学官連携事業実行委員会です。その構成は、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、財団法人室蘭テクノセンター、さらに最近、非常に産学官交流で活発に活動していただいている産学交流プラザ「創造」、その4者による共同開催ということになっています。さらに、北海道胆振総合振興局、室蘭市、登別市、伊達市、各商工会議所、金融機関等々、たくさんの機関のご支援を頂戴しており、これにつきましてはこの場をお借りしまして御礼を申し上げたいと思います。

今会はそもそも、大学や地方の研究機関が新しい技術動向を学ぶと、私ども大学、あるいは企業の研究の上に活かしていく、それから室蘭工業大学、室蘭テクノまた私どもの大学にとっても示唆に富む内容でした。

本年はご案内のように、リスク管理というのをメインテーマに取り上げたわけですが、去る3月11日の大災害、それから原発事故への対応、そういうことにおきまして、日頃のリスク管理体制ができていたところ、企業にしる自治体にしる個人にしる、体制ができていたところとそうでなかったところで、自ずからの被害、あるいは企業、人に対する損害に大きな差が生じたということはお存じ

センターにもいろいろなシーズがあります。それら研究成果、あるいは問題解決能力があるわけですが、それを地場の産業技術として活用できないかと考えております。また地元企業の新しい試み、いろいろな技術開発のニーズというのを大学なりが支援するとか、交流の場とか意見の場として機能させるという意図でございます。

その主旨は現在も変わってないですけども、大学では1つには研究分野やカバー範囲が少しずつ変化しているということがあります。それから室蘭テクノセンターのほうにも、人員とか予算の関係から試験研究機関としての側面というのを以前ほどには発揮できないというのがあります。さらに、地元企業の業務内容、あるいは専門分野が極めて多岐に、細分化されています。全てに共通する技術課題というのを設定するというのはたいへん難しくなっています。そのために、会の成果、あるいは講演内容が少しずつ変化していると理解しています。そんな中で、昨年は中国への企業進出におけるいろんな問題を学ぶということがメインのテーマでした。直接的に技術的なことではありませんでしたが、多くの企業にとって、のとおりです。今ほど、わが国でリスク管理というものの重要性が認識されている時はないのではないかと思います。災害や事故だけでなく、資金不足から情報漏洩までいろんなケースがございますし、最近ですとサイバー攻撃もございます。私ども大学の関係では、学生の不幸事というのでいろんなことが生じるわけですが、あらゆる種類のリスクがわれわれを取り巻いている。それへの対処の仕方ひとつでダメージの大きさ、回復の労力に

大きな差が出てくるのであります。

今日は、3人の講師の方をお迎えしています。企業のリスク管理の基本から実際に事故のリスクを身を持って体験された、体験談までお話いただけます。講演会ならびにその後の交流会まで、講師のみなさんとの間で多くの

講演 1 「企業のリスクマネジメントについて」

講師 東京海上日動リスクコンサルティング(株)

経営企画室 主席研究員 指田 朝久

ただいまご紹介にあずかりました東京海上日動リスクコンサルティングの指田でございます。今日は企業のリスクマネジメントについてということで、最近の動向、あるいはなぜリスクマネジメントが必要になったのかという最近の傾向、大きな枠組みのところをお話をしていきたいと思っております。お手元の資料にしたがいまして、話を進めて行きたいと思っております。

今日は3つお話をします。1つはリスクマネジメントが求められる背景。2つめはリスクの定義。それからリスクマネジメントの進め方ということで、お話をしていきます。まず、リスクマネジメントが求められる背景というところを見ていきたいと思っております。こちらの図表でございますが、これは危機管理システム研究会のところで、この10年間どういう事件・事故が起きてきたのか、それからそれに伴って、法令あるいは制度がどういふふうに変ってきたのか、というところをまとめた図です。ベストスリーというかワーストスリーというか、その3つを学会の中で投票かなにかで決めたのですが、こうして見ていきますと、実に様々なリスクが起きていることがおわかりいただけると思っております。この中で、青色になっているところ、例えば阪神大震災とか新型インフルエンザパンデミックとか自然災害系のもの。それから赤色になっているところは、食品安全偽装事件とか証券会社のシステム部長による顧客情報持ち出しとか、こういうものはコンプライアンス違反。それ以外の黒字のものは、その他の事件・事故というふうに分けています。これを見ていきますと、色々なことがあるのかなと。

一番右側のところは、世界的に見て、企業に対するリスクマネジメントに求める規制あるいは法令がどういふふうに定められたかを表すものでございます。いろんなものが起きていますが、例えば、昨年度どういうことが起きたかと言いますと、メキシコ湾の海底油田の爆発による油濁汚染ですとか、今話題になっていますタイの水害がございまして、タイでは非常事態宣言、政府の不安定さということがあります。地政学リスクによりまして中国の抗日運動・レアアース入手問題、この中でも昨年は日本の企業に大きな影響が出た3つが全部海外のリスクだったという特徴がございまして、それだけ日本のグローバル化が進んできたのかなと思っております。今年に入りまして、東日本大震災、あるいはタイの水害がございまして、そう言う意味では国際化が1つのキーワードになっているのかなと思っております。そして、右側のほうなんですけど、色々な規制があるんですけど、この10年ずっと見ますと、規制あるいは法令化が進んできていることがおわかりいただけるかと思っております。こちらのほうは、これから少し詳しく見ていきたいと思っております。

日本の企業のリスクマネジメントに関する規制に関して、特に重要なもの、2000年以降で挙げてみますと、こ

意見交換がなされまして、検討会の主旨が活かされますように。また、お越しいただいている多くのみなさんに、心から御礼を申し上げてご挨拶とさせていただきます。どうもありがとうございました。

ういう法令等が挙げられるのかと思っております。1つは2003年、これは上場企業なんですけど、有価証券報告書へリスク情報を記載しなければならない、こういう規制がかかりました。実は有価証券報告書へのリスク情報の開示につきましては、世界の証券市場では日本が一番最後、つまり一番遅れていたわけなんです。株主の保護という観点から企業のリスク情報を開示しなければならないというのが出来まして、2006年というのが、エポックな年でありまして、2つの重要な法律が相次いで、施行成立しているわけです。

1つ目が会社法、これは後でもお話しますが、会社法の362条といふところに、損失の危険の管理という条文が入ったということ。会社法は商法の大改定ということで、全体で1000条余りあるわけなんですけれども、その中の1つにリスクマネジメントに関する条文が入った。2つ目は金融商品取引法でございまして、こちらは内部統制という言葉が挙げられていますが、こちらもリスクマネジメントに関する法律でございまして、それから個別の法律に関しましては、重要な法律が3つございまして、1つ目が、個人情報保護法。個人情報をどう取り扱うかが決まりまして、法律の制定によってリスクが企業側からすれば確実に増えたということでございます。2つ目が、公益通報者保護法。いわば内部告発でございまして、内部告発について法律上合法的な行為であることが認められたものでありまして、コンプライアンスに関するものについては、公益通報者保護法の施行以降、大会社、中堅・中小企業もそうなんですけど、コンプライアンス違反による不祥事は減ってきています。そういう意味では、この法律の効果があつたかと言われております。同じ年に独占禁止法の改正が行われておりまして、これは自主申告をした場合、一抜け制度といわれておりますが、要は公正取引委員会が調査に入る前に自主申告をすると、トップバッターは刑事罰を免れるし、課徴金もゼロになる。五番手まで、罰金、課徴金が減免されるというもので、これも大きな影響を与えています。このように、この10年間でリスクマネジメントを企業に求めるという法律、枠組みが相当程度変わったというのが実は大きい。ひとつ一つその中身を見ていきたいと思っております。

まず1つ目は会社法でございまして。会社法の中には、内部統制、言葉は硬いんですけど、英語ではインターナルコントロールという言葉なんです。インターナルというのは、組織の中でという意味で、コントロールを統制と訳したのは、私は誤訳だと思っております。非常に締め付け感強い言葉なんですけど、英語ではコントロール、野球のピッチャーのコントロールだと思ってください。目的を定めてそこにもっていく、狙いを定めてそこに投球する、そういうイメージがコントロールの意味なんです。ですから、統制、締め付けるという意味ではないということ意識して欲しいと思っております。実は会社法の362条の中で、会社のなかで、自分の組織の中で色々な規律ある取り組みをしてくださいという定めがあります。いくつかあるんですけど、その中の2つ目の、損失の

危機の管理に関する規定その他の体制を作ってくださいとあります。実はこれが会社に対して、リスクマネジメントをやってくださいという意味です。法律の中で企業のリスクマネジメントをやりなさいというのを定めたのは、実は画期的なことだと理解をされていました。ただ残念なことに、この 362 条は努力目標でありまして、これに違反したからといって、つまりリスクマネジメントをやっていなくて会社が損失を被る、あるいは会社が倒産をするということに対して直接的な罰則、刑事罰はございません。この 362 条の主旨は、企業は自助努力で市場競争のなかでリスクマネジメントをやって生き残ってくださいという主旨の法律になっております。2 つ目が、金融商品取引法でございまして、金融商品取引法で定める内部統制、インターナルコントロールなんですけど、もともと法律上は 4 つの目的を定めています。それがここに書いてある 4 つの目的なんですけど、1 つ目が業務を効率化しましょう。つまりいかにうまく儲けるか。これを法律のなかでうたっている。2 つ目が、財務報告。いわば粉飾決算をしてはいけない。3 番目が法令遵守。いわばコンプライアンス。4 番目が資産の保全。会社の資産はちゃんと保全しましょうと、こういう 4 つの目的があるわけですが、この内部統制・インターナルコントロールがやや財務報告、ここにだけ焦点が当たって、日本の、特に上場企業では推進されてしまったきらいがあると思っています。もともとの法律はうまく儲けることも内部統制の範疇だといっていた。で、6 つの取り組み事項がありますが、このなかにリスク評価とか対応というのがありまして、実はこれがリスクマネジメントにあたるというふうになっています。ですので、今日本の企業は会社法という全ての会社が対象となる、その会社法のなかでリスクマネジメントをやりなさいと上場企業や社債を発行している会社に対しては、有価証券報告書などを正しく作るという意味合いも含めて、リスクマネジメントをやりましょう。この 2 つの法律が規定をしているというのをご理解をいただきましたと思います。

このように、法令・法律を強化してきた背景が実はございます。それが企業を取り巻く大きな環境の変化であります。今日的に企業がどういう状況にあるのかを見ていきたいと思っております。1 つ目は会社法の成立でして、法律のなかでリスクマネジメントの実施が義務づけられているというところに皆さまがいらっしゃる。2 つ目が、公益通報者保護法。内部告発あるいは 2 チャンネル、内部情報がどんどん出てきてしまうということになりまして、企業のなかの不幸事、あるいは法律違反、これは隠し通せる時代ではなくなってしまったということでございます。それから 3 番目が、世間の目の変化ということでございまして、社会の目と企業の目の食い違い。昔は当たり前、昔は問題なかったというのが全然通用しないというのがございまして、ゼネレーションギャップというか世代の差を感じるの、セクハラなんかがそうですね。パワハラというものについては、昔は当たり前、「馬鹿野郎、こんなのがわからなくて、何やってんだ！」という怒り方をされながら我々世代は育ってきたのですが、今、こういうことを若手社員にやってしまいますと、パワハラだと言われます。宴席がございまして、その時は社長の隣りは必ず入社直後の新人の女子社員が座るみたいなのは、これはセクハラで訴えられる。このように大きく世の中は変わってきている。そして、消費者庁が成

立しましたが、大きな変革でございまして、消費者の目の観点による行政指導を明確に打ち出したことがございます。消費者フォロー、管理者責任、企業の責任を追求するように目が変わった。これは大きなポイントになっています。そして、先ほどリスクのところでお話しましたが、グローバル化の促進、円高、少子化、高齢化、あるいは生物多様性条約、COP10、自由貿易協定 TPP とかがございまして、国際化、グローバル化は避けて通れないということでございます。それに輪をかけるような形で、国際標準、これが促進をされてきています。国際会計基準、先行きどうなるかわかりませんが、後でちょっと触れてみたいと思います。あるいは CSR、企業の社会的責任、国際標準化機構 ISO26000 を定めております。そして今日、話題の中心になりますリスクマネジメントに関しても国際標準が定められたということがございます。今、大きく世界的に、企業に対してリスクマネジメントを求めるようになってきている。こういう関係のなかで、われわれは生きているということを是非、認識をして欲しいと思います。

ここで、ちょっと話題を変えまして、今年最大のリスクであります、東日本大震災がどうであったかということでございます。詳しくは、川原場（講演 2 の講師）がお話すると思いますが、東日本大震災を私なりにまとめてみると、地震の特徴として 7 つある。1 つ目は、マグニチュード 9.0 の地震。日本の観測史上最大の地震であった。2 つ目は、10 メートルをはるかに超える巨大津波による被害。人の命、約 2 万人の死者行方不明となっています。この 93% が津波による溺死ということでございますが、人の命というところから見れば、津波が主たるものであったと。3 番目は、産業の目から見た場合ですが、サプライチェーンの停止による世界的規模の生産減少。4 番目は、原子力発電所の事故があったこと。5 番目ですが、実は広域で長時間停電がありまして、この影響が非常に大きかった。特に通信機能、携帯電話がマヒしたことが大きい影響を与えた。そして 6 番目が燃料。ガソリン不足ということで、物流への影響が大きく出ておりました。7 番目が長期に渡る計画停電の影響があった。この 7 つが東日本大震災を振り返った時に、ポイントになるのではないかと思います。これがどういうことなのか。想定外を一番最初にもってきていますが、本当の想定外は少なかったのではないかと考えております。想定外が今年の流行語になるのではという思いもありますが、想定外ということが本当だったのかということがあります。実はそうでもない。マグニチュード 9.0 の地震とか原子力発電所の事故とか色々ありますが、実は学者の先生も含めてどこかでだれかが指摘していたこととございまして、全く誰も指摘していないことがおこったのは、実は 1 つもない。これは振り返ったときには、大きな事実であろうと思えます。

想定範囲。あとでリスクマネジメントをどう行うかをお話しますが、実は想定範囲を決めるのは経営者の判断の問題になるということとあります。で、経営者が判断するときに、自然災害でありますと、自治体のハザードマップを使うことがよくあります。ただここで注意しておかなければならないのは、自治体がつけている被害想定・ハザードマップは最大の被害予測ではないということなんです。これを超えるということがあると認識しておかなければなりません。ただし企業の経営者が自治

体のハザードマップに準拠して、対策をとりました。これを銀行、あるいは株主に説明をする。これは一面では合理性があって、そこにある標準を使う。ですから対策を取るとき、ハザードマップを使うことは全然問題はないのですが、ただそれを越える災害が起きないと思ってしまうというのが実は大きな誤りだということでもあります。せめて、絶対安全はないということで、やはりリスクを認識しておかなければいけないということだと思います。そして、津波に目を奪われることが多いのですが、産業という観点からいくと、やはり本質は地震の揺れへの対策が必要だったということ。そして停電の影響が深刻だったということになりまして、携帯電話、高性能固定電話が停電で使えない。携帯電話は基地局が3時間でバッテリーが切れてしまいますので、停電になると3時間で携帯電話は使えなくなる、これは認識をしておくことの必要があると思います。ということで、次にリスクということについて、お話をしていきたいと思えます。

リスクなんですけれども、リスクというのどういうことを思い浮かべるかなということ、ここにざっと並べてみました。危険ですとか、危ないとか、事故とか、事件とか、不祥事とか、あるいは地震とか。自然災害とか。危害とかいう言葉も使われますね。損をすること、経営者の側からするとこういう答えが返ってくるかもしれない。一方で、冒険をすること。あるいは投資をすること。チャレンジをすること。よくリスクテイクという言葉を使いますが、リスクを冒すとか、可能性に賭けるというようなこともありますね。サッカーとかラグビーでいいますと、守りをしているバックスが攻撃参加をすること、これをリスクというふうにいいます。攻めるチャンスもあるし、カウンターでやられてしまうということもある。ゴルフをやられる方なんかですと、池越えを狙うと、池ポチャを覚悟でグリーンを狙うというのはリスクテイクみたいなことなんだろうと思います。それから、想定とか結果にブレが大きい、こんなことで使うことがあるかも知れません。リスクとうのにはいろんな概念があるのですが、これからお話しするのは国際標準で、リスクというのがどういうふうに定義をされ、リスクマネジメントの進め方がどういうふうに進めるのか、これが決められたということをお話をしていきます。

2009年の11月15日、リスクマネジメントに関する国際標準規格が発行されました。3つ発行しております。今日お話しするのは、リスクマネジメント国際規格ISO31000、これをお話します。リスクマネジメントの用語に関する国際標準規格、ISOGUIDE73がございしますが、こちらのリスクの定義でお話します。リスクアセスメント技術というものがございまして、ISO/IEC31010、この3つが国際標準で定められまして、上2つが今日日本語の翻訳が来ています。この中で、リスクの定義がどうなったか。実は、リスクというと、英語でいいますと、「effect of uncertainty on objectives」という表現になります。和訳では、「諸目的に対する不確かさの影響」。これがリスクの定義になりました。なんと無味乾燥な定義なんですよ。不確かさがリスクの本質だということなんですよ。つまり将来に軸足を置いて決まっていなモノ、確かでないモノは全部リスクになるということ。影響とは、良い方向にも悪い方向にもあります。これが実はリスクの定義になりました。良い方向、悪い方法、プラスもマイ

ナスも両方あるというのは、実はリスクの中に戦略リスク、つまり企業経営そのものが入っていることになるんですね。新商品作って売れました、これはプラスになります。売れませんでした、これはマイナスです。こういうものを実はリスクとして捉えようという考え方になってきたとお考えください。そしてプラスもマイナスもあるものという、為替がございまして。円高、円安どちらに振れても嬉しい企業、悲しい企業がございまして。従来のようにマイナス、事故、災害が、マイナスイメージだけではない。こういう非常に広い範囲でリスクの定義が変わったということございまして。で、ここに書いてある目的というのはどういうふうに考えるのでしょうかということですが、これはいろいろと設定をして構いませんということになります。ですから、企業財務に焦点を当てれば企業経営そのものです。財務が上がったり下がったりすること、それがリスクだと。それから安全衛生ということに焦点を当てると労働災害、古典的な労災のリスクマネジメントになります。また環境問題とか、製品戦略、プロジェクトですね、製品の安全性、プロセス、いろんなものを目的に定めることができる、こういう広い概念になっている。3番目は、これは非常に重要なポイントなんです、不確かさとは何だろう。実は不確かさにもいろんな段階があります。全く分からないこと、例えば隕石が日本に落ちる、これもわかりません。明日、地震が起きるかどうか、これもわかりません。来年、いつ台風がくるか、こういうふうには全くわからないという不確かさもありますし、サイコロも目のように1から6のどれかは出るけどもどれが出るかわからないという不確かさがあります。いろんな不確かさがあることに加えて、情報、理解、知識が欠けている。これもリスクなんです。逆に言えば、情報を集めて勉強して知識を得ることがリスクを減らすことになるということを言っております。これも非常に意味深い言葉になると思います。最後はリスクの表現なんです、事象の結果とその発生の起こりやすさとの組み合わせだと、リスクは、昔から発生頻度と影響の2つの軸があるとされています。それをここに載せているんですね。これ以外にもリスクがございまして、法律上、日本の内部統制という法律で考えられている概念が、実はここなんですよ。会社法のもととなった内部統制の定義、金融庁企業会計審議会が定めているリスクは、「組織目標の達成を阻害する要因」だと、つまり会社経営の目標、売上高をいくらにしよう、利益をいくらにしよう、この目的を阻害するもの、これがリスクなんだという考え方をしていまして。先ほど、リスクの定義に、プラスもマイナスもあると話をしましたが、実務的には企業にとっては、企業目標を達成できないこと、そこには何が原因なのか。それを洗い出してマネジメントすることがリスクマネジメントだと考えていただくことが一番実務的にはよろしいのではないかと考えています。その意味で、組織目標の達成を阻害する、これがリスクなんだというのが、私としては好きな定義でございます。

さて、企業を取り巻くリスクにはどんなのがあるのだろうか。いろいろとあるんですけど、東日本大震災とか、あるいはタイの洪水、地球温暖化というのがありますし、今年台風が多数来りました。新型インフルエンザが一昨年ありましたし、法令違反はいろいろとあります。個人情報の漏洩、あるいはビジネスということであれば、ライ

バル会社が大型合併したというのも実はリスクに入ってくる。これを企業経営としてみていかないといけない。これからお話しするのは、企業はどうやってリスクマネジメントをやればいいんでしょうかということをお話してまいります。お話いたしますのは、国際標準 ISO31000 でございます。国際標準といいますと、品質マネジメントの ISO9000 とか環境マネジメントの ISO14000 とか、導入されている企業はたくさんあるかと思いますが、そういう中に、リスクマネジメント ISO31000 が作られたということでございます。なんでこれを作ったのかというと、世界的に企業を守っていく必要があるということで、国際標準規格が作られたわけなんです、その中にリスクマネジメントの効用というのが書いてあります。いろいろと書いてありますが、特に、特徴的なのが、リスクマネジメントは価値を創造し、価値を保護する。リスクマネジメントは何のためにやるのかというと、1つは価値の創造、儲けるためにやる。2つ目は、企業の財産を守る。これが ISO31000 を作った目的ということになります。それから、「リスクマネジメントは意志決定の一部である」。つまり経営そのものだ。これがポイントです。経営者はこの ISO31000 を活用してくださいということになります。そして、もうひとつ「リスクマネジメントは組織に合わせて作られる」つまりリスクマネジメントは企業ひとつ一つ全部個性があります。どこからかの真似で入れればいいということではなく、経営者が自分の身の丈にあった企業独自の個性豊かなマネジメントをしていいという考え方がここではうたわれています。リスクマネジメントをやると、儲かるというような価値観を持った、ISO31000 をこれからお話をしていきたいと思えます。

ISO31000 の概念図がこちらです。2つのサイクルがある。まず左側、これは企業として、リスクマネジメントをうまくやるための組織の運営の仕方を定めています。ここでは、枠組み、フレームワークと言っているんですけど、指令およびコミットメント、日本語が難しいのですが、経営者がトップダウンで進めましょうということで、順にサイクルしていくのですが、これは皆さまよくご存じの PDCA、継続的改善の仕組みそのものです。リスクを運用管理するための枠組みの設計が Plan、計画に当たる部分で、リスクマネジメントの実践、これが、Do。枠組みのモニタリング及びレビュー、これが Check。継続的改善、これが Act でございまして、日本人の一番得意とする PDCA が取り入れられているということでもあります。ここは ISO9000 品質マネジメント、ISO14000 環境マネジメントを導入されている企業ですと、方針にあたりと理解していただければ、なんということはない、ISO9000、ISO14000 と全く同じ考え方で、実は組織の中でリスクマネジメントを利用することができるということです。2つありますけど、PDCA の考え方を導入している企業があればそのまま適用できると理解していただいていると思います。特徴的なのがこちら、リスクを管理するためのプロセスということで、リスクマネジメントの進め方、プロセス、手順を定めたものになっています。一番最初が、置かれている状況の確定というややとつきにくいところから、スタートします。これは課題設定に当たります。リスクアセスメントというのがありまして、リスクの特定、リスク分析、リスク評価、そしてリスク対応となっており、これは古典的なリスクマネジ

メントの進め方で、ロード安全とか火災対策とか、同じような進め方になります。うまくいっているかどうかは、モニタリング及びレビューする。これがうまく行くまでグルグル回る流れになっています。左側にコミュニケーション及び協議という聞き慣れないことが書いてありますが、ここで言う協議とは、コンサルテーションの訳なんです、これは有識者にアドバイスをもらうということなんですね。ですから、コミュニケーション及びコンサルテーション、関係者と情報を共有して有識者からアドバイスをもらって進めてくださいということの意味しています。言われてみれば当たり前のことなんです、これを念頭に置きましてこのサイクル、リスクマネジメントを進めるプロセスをこれから解説していきたいと思えます。

これが先ほどお話をしました継続的改善、PDCA を繰り返して継続的にリスクに強い会社になりましょうとっている部分、品質管理、環境マネジメントと全く同じだというふうに考えています。そして、環境マネジメントの最初のプロセスを解説しますと、外部状況、内部状況を確認しましょうということから、このリスクマネジメントのリスクが進みます。問題設定、課題設定、そして課題を解くための条件、これを最初に確認しましょうということでもあります。リスクマネジメントをやりましても、会社の資源には限りがあります。特に企業が置かれている状況、強み弱み分析をやる訳ですが、外部状況。内部状況いろいろ見ましょう。外部状況ですと、国際、国内における政治、文化、自然環境はどうでしょう。台風がよく来るとか。地震がよく起こるとか。政治的に不安定であるとか。あるいは法的には何が要求されているのか。戦略的リスク、経営そのものも含みますから、競争環境。ライバル企業と強い弱いどっちなんだとか。それから目的達成に影響を与える主要なドライビングフォース。ドライビングフォースというのわかりにくいんですが、要は外圧です。行政指導があるのか。株主にうるさい人がいるのか。取引先の大手の会社から注文があるとか。そういうものを見ましょう。外部利害関係者との価値観の共有。株主、市民、いろんな関係者が何を会社に要求しているか。こういうものを最初に押さえます。そして内部。責任体制と役割分担が上手くいっているのか。あるいは組織がどういう組織か。そして内部の利害関係の要求がいろいろとある。経理部から予算は増やせませんか、あるいは労働組合、労働者からこういう要求があるとか。いろんな部門があるかと思いますが、それぞれ何を持っているのか。達成するための戦略とか。あと、経営資源、人、物、予算、技術、情報など、これらには必ず限りがあります。無限に予算がついてくるわけではありません。特に予算の制約は大きいと思うのですが、この中で何をやるのか。そして従業員というのが大きな財産ですので、そうした人たちがどれだけ教育・訓練されているのか。特殊技能を持っている人がどれだけいるのか。そういうのも含めて内部の制約条件というものがあります。こういうなかでリスクマネジメント、経営の目的を達成するためにどうすればいいのか。その一番最初の課題設定が最初のステップというふうにお考えください。

では、企業のリスクにはどんなものがあるのだろうか、見て行きたいと思えます。リスクにはいろいろな分類の仕方があります。ここでは、代表的な 4 分類というのを

掲げてあります。1つは戦略リスク。これは経営そのものです。どんな製品作るのか、海外進出するのかしないのか。価格はいくらに設定するのか。あるいはM&A。こういう企業そのもの、これもリスクに入ってくる。そしてよくあるのがハザード。地震、風水害、火災、機械故障、交通事故、事故・災害は昔から有名なリスクマネジメント。そしてオペレーショナルリスク。これは最近出てきた考え方ですが、これは経営者とか従業員とか、企業の中で実施する行為、オペレーションに伴って出てくるリスクとして、法令違反をしてしまった。あるいは不良品を作ってしまった。労働争議がある、社内不正がある、あるいは事務処理ミスがある。こういうのが、オペレーショナルリスク。最近はこのリスクが高まって来ている。そして、もう1つ、財務リスク。為替だとか。貸し倒れ、株価変動、金利変動。こういう外部条件、財務にかかわってくるリスク。こういう特徴ある4つのリスクに分類するのが一般的になってきています。それぞれどんなリスクがあるのかを一覧表にしたのが、こちらの表です。あとでご覧いただければと思いますけれど、ざっと80項目くらいあります。普段、全くこういうものを認識していないで企業経営をやっています。お帰りなってからで結構ですが、こういうリスクのチェックリストをもとに、わが社ではこれはどういうことになるんだろう。起きるんだろうか、起きたらどれくらいの影響があるんだろうか。というのを是非、リスクの棚卸しをしていただきたいと思っています。その棚卸しの仕方をお話していきますが、まずリスクは、頻度と影響度の2つの軸を持ちます。リスクの定義の4番目のところの注釈にありました。それでリスクを評価していただいて、頻度の軸、これはISOの標準ではありません。私がおすすめしているのですが、5段階評価がやりやすいようがございます。頻度5というのが、一番起きやすいのですが、1年に1回以上、毎日起こる、こういうのは頻度5です。それから、5年に1回というのはですね、もし人事異動があるとすれば、部署が変わるとか、役付になるとか、だいたいそれが5年でございます。10年に1回が頻度3。そして50年に1回というのは、会社勤めのなかでは、1回あるかなしか。これが頻度2という評価。50年に1回以下だけど、これはあるよね。というのが頻度1。最後は、これは絶対に起こらないというのがゼロ。ということで評価をしていただけたらいいかと思えます。

ゼロがつくことは本当にはないのだからと思いますが、これで頻度を見ていただければ。影響度ですが、ゼロというのは全く影響がない。1というのは1年以内の影響、2というのが1年程度影響、3というのが5年程度影響、4は部門売却とか撤退とか相当程度回復しない。倒産ギリギリのところをお考えいただくといいかも知れません。5は、これがおきたら倒産。80項目くらいあるリスクを一度棚卸しをしてください。棚卸しをして、特に評価がむずかしいとかになりますと、こういうシナリオを作って評価をしていただくと詳細的に分析ができるわけなんです。これは、80個全部やるのは大変ですから、リスクに迷ったとか、特に重要なリスクと思われるものを分析していただければと思います。シナリオを作ります。これは火災の例なんです。複数ある工場のうち1つが火災で全焼した。評価軸、特に影響度のほうは、観点の違う5つの軸があります。1つ目が人的被害、負傷者が5名、これが場合によっては死者が出るというケースもありま

す。人の命のどういう影響があるか。2つ目は、物の被害です。工場の資産30億円が滅失した。それから利益損失、これはなかなか難しいのですが、2つ工場があって、1つ火災で、もう1つの工場で代替生産ができる。空き時間を利用してでも、100%は無理なので、70%程度。つまり30%程度は利益がなくなってしまう。賠償責任、納期遅れのために、1日3000万円。こういう定量評価をやっていただくのもよろしいかと思えます。信用失墜とありますが、工場再開後も15%のお客様が戻ってきません。こういうのが信用失墜。5つの違った観点で見ることをお勧めしています。これは火災の事故なんです。不良品を作ったという場合、不良品の程度によりますと、賠償責任とか大きな問題となる場合があります。そして、最近では、欧米の企業では、環境の軸ということを設置しています。これは直接的にお金に換算するということはないのですが、例えば生物多様性を失ってしまうとか。あるいはCO₂とか、二酸化炭素をたくさん排出するとかで、気候変動に影響あるとか。こういうような軸を加えて、6つで評価をするというような場合もございます。

そして、もう1つ企業の財務というところで見た場合、被害が起きた後、事故災害が起きた時の資金繰り、これを分析していただくことも非常に重要なのかと思えます。これは財務インパクト分析と言っておりますけれど、地震が発生した後に、ここで工場を立ち上げて操業が始まって収入があることになるのですが、その間に手元の流動性資金がどういうふう減っていくのか。というのを分析した図なんです。地震が起きて生産が止まってしまっ、その日から収入がなくなります。実際は売掛金が現金に変わるとかある場合もありますが、すぐ救援物資の手配とか緊急対応の費用とか出ていきますし、取引先との資金決済でお金が出ていきます。応急補修とか、残業代とか、臨時復旧の手当とか。あるいは取引先の資金決済や従業員への給与支払いとかいろいろとお金が出ていく。一番大きいのは被災をした保有資産を立て直す、再建をするというとき、ドンとお金が出ます。資金繰りをずっと見ていって、この企業の例でいきますと、ここでお金がゼロ以下になる。そうなりますと、ここから復旧するまでの間、ファイナンス、資金繰りをなんとかしなければいけない、これがどれくらい金額かというのをあらかじめ見ておくのも必要になってくることになります。資金を含めて影響度を見ていく。そして、それで何ができるかという、このリスクマップというのができます。

これはある企業の実際にコンサルティングさせていただいた事例のものなんです。横軸が頻度の軸、左が頻度が低くて、右が頻度が高い。縦が企業へ与える影響。この企業の例でいきますと、一番右上が頻度が高く、企業に与える影響も大きいのですが、この企業は商社なんです。為替変動が一番大きいというふうに出ております。それ以外にも、通商問題、原材料の高騰とか、景気変動とかがリスクとして取り上げられている。滅多に起きないが、起きたら大変だというのが、戦争とか地震、土壌汚染、火災爆発、水害。こういうのが滅多に起こらないけれど、起きたら大変だというリスクに挙げられる。商社ですと、運送中の事故は頻度は大きいけれど、ひとつ一つの影響は大きくはない。それぞれの個性が出てます。このリスクマップは企業ごとに違うものが出来た。ぜひ、自分の会社はどうなるかを見ていただきたいと思います。

います。ここに載っているリスクは 20 個くらいですが、先ほど 80 個くらいリスクがありますとお話しましたが、実際に評価をしますと、多くのリスクはここにきます。頻度も小さいし、起きてあまり影響がない。こうところに固まってくるというのが、リスクの実際になるかと思えます。頻度も少ない、影響度も少ないリスクなんですけど、起きたときに対応を誤ると大変なことになります。準備は怠らないようにしていく必要があると思えます。リスクのマップを作ると、次は優先順位をどうするかということになります。

この図は、カテゴリーを 4 つの大括りにして、優先順位をつけて順番に対応していったらどうでしょうかということ、オーストラリア・ニュージーランドのリスクマネジメント企画のお勧めを持ってきたのですが、発生頻度が高い、影響度も大きい、上のほうが重要だとおわかりいただけると思います。この階層では 4 つ。ハイリスク、シビアリスク、ミドルリスク、ロウリスク、大きいカテゴリーをわけてこのなかで優先順位を考えましょう。ということをお話しております。ここで重要なのは影響度 5、つまり倒産する可能性があるリスクは全部入る。頻度が少なくとも、大きくとも、ハイリスクに考えるとところがポイントに。頻度が高いところは中くらいのリスクでも対処しなければいけない一番優先順位の高いものに入ってくる。こういうふうを考えているということです。すでに、企業様でリスクマネジメント、リスクマップを作られているんですが、どんなものが取り上げられているのかというと、比較的多いのが、製品・サービスの瑕疵、自分の売物が不良品であると企業経営にもすごく大きな影響が出てきます。2つ目が製品・サービスの供給停止。いわばメシのタネを作れない。今回の災害などもそうなんですが、地震・事故で製品を作ることができない。これも大きいですね。3番目は法令違反。法令違反になりますと、入札の資格停止処分となったり、結構影響が大きい。4番目は、日本の企業の特徴だと思いますが、企業・従業員の安全を取り上げられている企業が多いです。労働安全、最近では海外に進出されている企業が多いので駐在員の誘拐対策がございまして。あと情報セキュリティですとか、特許だとか、環境対策ですとか、いろいろなリスクがあります。リスクマップを作って、わが社ならなんのリスクを優先的に取り組むんだらうかということです。これにさらに戦略的リスク、新商品の開発とか価格競争とかいろいろなものが入ってきます。優先的に取り上げるリスクが決まりましたら、こんどは対策になります。

対策は7つございまして。1つ目はリスクを回避すること。止めてしまうということ、リスクを避けるためにその取り組みを止めるということ。典型的なのは不良品が多い、あるいは製造物責任が製品を作るのを止める。これが回避の典型例でございまして。あるいは立地です。地震の多いところに工場立地をしない。そういうことで、地震のリスクを回避する。2つ目は、リスクテイクという特別な考え方なんですけど、ある機会を追求するためにそのリスクを取る、または増加させるということで、これは新商品の開発とか、新規の設備投資ですとか。戦略的リスクあるいは、銀行なんかですと融資をする、あるいは機関投資家ですと株を買うとか。こういうのがリスクテイクになります。あるいは他のリスク対応とのトレードオフとか。労働安全、ヒザとかの故障を防ぐために、

木のパレットを使う会社さんもございまして。木のパレットを使うということは、クッションがあるので労働安全にはいいのですが、一方火災に弱いとか、トレードオフの関係があることもございまして。3番目は、リスク源を除去してしまう。4番目と5番目は、起こりやすさ、発生頻度、結果・影響力を変化させるということでございまして。これはマイナスしかない。事故・災害の防止ということで、減らすという考え方になります。6番目は、リスクを共有する。契約、あるいは損害保険などを使って、他社と分担して持ち合うということ。保険などは、10億円の損害が出ました。保険をつけているという場合、社会全体から見ると、損害は変わらない。自分の会社1億円、保険会社9億円。ということで、共有しているという考え方になります。一方、新規投資というところでは、リスクを共有するとは、株を買うということ。株を買うということは配当金を得るという利益も得られますが、失敗すると株価が下がるというリスクも、共有している。株式会社の株というのは、リスクマネジメントでもすごく重要な考え方になります。最後は、リスクを保有すること、損害を自分の財産に、お金で損失を埋める。自腹を切るという、これがリスクを保有することです。

従来のリスクマネジメントと比較しますと、従来は、こちらの4区分でした。リスクを回避する。リスクを低減させる。起こりやすさを変える。結果を変える。リスク源を除去する。3つに分かれていますけど、これは低減ということです。リスクの移転というお話は昔は。これは損害保険を付けて、リスクを保険会社に、保険金をもらうことで移すという考え方だったんですが、今は共有という考え方になりました。全く新しい考え方というのは、リスクを取る、増加させるということで、信託投資、設備投資、株を買う、こういう行動が入ってきたことを理解していただければいいと思います。昔の考え方では、この4つの考え方をいかに組み合わせるかというのが、リスク対策のポイントなんです。それをわかりやすく示した図がこちらであります。リスクはどこまで減らせばいいんですか？これを考えていくのがリスクマネジメントなんですけれども、企業が倒産するようなリスク、あるいは部門売却をして穴埋めをしなければならないような大きなリスク。企業というのは、財務諸表で評価をされるということです。最終的にはお金の換算して、どれだけの損になるのかを見ていくわけですが、その時に、どこまで対策をとればいいのか、ひとつの目安がリスク基準になります。労働安全・災害になりますと、お金だけはない、人命はどうするということになります。財務的には金額を見ていくことが一般的になります。実際にリスクマネジメントをやる時は、リスク基準というものを作ります。年間、いくらまでだったら、わが社は耐えられるか。これくらいなら仕方ないという金額を設定していただくとわかりやすいのでは。その時に、リスクの大きさとか頻度によって、色々あるわけですが、受容という概念を新しく出しましたが、これも保有の一部です。このリスク基準よりも、発生しても耐えられる、これは保有のなかでの受容という考え方にします。ちょっとした事故、機械が壊れても消耗品扱いでどんどん変えればいい。これは実は、損失を受容していることになります。これが1つ。次に、保有というのがありますが、リスク基準を突き抜けている。

例えば、年間1億ならいい。1億3000万円になりそうだ。今年は予算ないなので置いておくかということは保有になる。突き抜けてしまうのだが、対策をとっていない状況。先ほどの低減というのは、もともとのリスクはこれだけあります、なんだけど、いろんな対応策を取って、リスク基準の中に収めることこれが低減策です。こちらが移転、10億円。そのうちの9億5000万円を損害保険で付けましょう。で、自己負担分は年間1億の基準以下。5000万とか8000万にしましょう、という考え方で保険を付けましょうというのが、移転の考え方です。リスク基準をつくりまして、それぞれがどういうポジションにあるのか、これを一度見ていただく、そしてリスク基準に照らして、優先順位を付け対策を取るという考え方になっていきます。

では、どうリスク基準を考えればいいのかということですが、これはバランスシートから見たリスク基準の考え方です。これが国際標準会計の概念にも出てきておりまして、資本金というのをもう少しきっちりと捉えて行くという流れがございます。これはご存じバランスシートなんですが、会社の資産をお金に換算して、積み上げたものが資産になります。で、右側が資産と負債にわかれますが、バランスシートというのは端的に言えば、ある日現在、お金に換算したときに、誰の取り分になるんですかというのを表していると思ったほうがわかりやすいと思います。こちらが負債で、銀行からの借入れとか返さなければいけません。資本金と企業が今まで積み上げた内部留保になります。最終的にはこの資本を解散するのであれば、株主が最終的にわかることになります。これがリスクが発生するとどうなるかという、当然ながら損失が発生しますから、資産が減ります。これは現金が減ることがありますし、事故・地震で建家が被災し免失するということもあります。バランスシートはバランスしますから、右側も減るんですが、この時、原則、負債は返さなければいけません。負債は減りません。では何が減ったかという、資本が減るんですね。今の国際会計基準の考え方からいくと、「リスクは資本が救う」という考え方です。つまり、抑えなければいけないリスクの量は、今ある資本を超えてはいけません。こういう考え方になってきています。ここがひとつ大きな流れになってきています。仮に、資本を突き抜けると、どうなるかという、こちらの図でございまして、負債の方がでかくなる、債務超過になるわけなんですが、これがあっても流動性がある限りはしばらくはもちこたえられますけれども、やがては会社経営としては難しくなっていくだろうということになります。リスクが起きたときに、資本の中にとどめるのが大きなポイントになりますし、その資本が減ってしまうリスクも、事故や災害で減るものもあるし、不良品が発生して減るものもありますし、ライバル企業との競争に負けて減るもの。いろんなことで資本は使いたい。ですから、それぞれごとに、重複して持つ。あるいは、ここはどちらか大きい方だけ持てばいいとか、いろんな考え方がありますが、いずれにしても資本を目安にリスクの上限を定めて、それに収めるように対策を取っていく。これが今の国際会計基準の資本の新しい考え方になってきています。この時に重要なのは災害があったときに、保険と融資どちらがいいか話題になります。今回の東日本大震災でも無利子の災害融資というのが発動されていますが、大きな相

違点がございます。左側が、あらかじめ損害保険等々で、保険金で回収した場合、受け取った保険、これは現金なので流動性を確保できるということもありますが、資本に充てることができます。これが次のリスクに備えることができることに。一方、融資は負債になるんですね。ですから、必ず返さなければならない、無利子であったとしても返さなければならない。そして資本は極めて少ない状態になってしまいます。これで何らかのリスクが発生してしまうと、持ちこたえる余力が極めて少ない状況になってしまいます。こういう状況になる、したがって災害になったら融資がある、それを活用すればいいというのがあるんですが、財務諸表には大きな違いがあって、リスクに耐えられる能力が極端に落ちてしまうことになります。こういう違いがあることを認識してください。

最後に2つばかりお話します。ひとつは想定内と想定外をどう考えればいいのか？被害想定はどこまで置けばいいんでしょうか。ということに絡んだお話です。縦に会社の業務、まず人の命、これは何に置いても守らなければいけないもの。もうひとつはビジネスです。ですから2段階あります。被害想定、右に行けばいくほど、被害は大きくなります。われわれは、いろんな被害のシナリオを作っていきます。その時に、どういうシナリオを作っているのだろうか。実はここに縦線があります。ある一定の被害のどこかひとつ、経営者というのは決めているんですね。これは何かといいますと、自分の会社の体力で、対応できる最大の被害がここになります。場合によっては、ハザードマップとかに準拠しておいている被害想定額、この大きさよりも小さい災害が起きたら、それは通常のリスクマネジメントをいかして克服してください。あるいは克服できるというふうに表示しています。ただし、それをやるためには日常のリスクマネジメントを対応しておかなければならないので、防災対策をして事前準備をして実践をするということになります。訓練とか実践力を向上させていく。特に、BCPとか事業継続計画とかは訓練なんかが必要です。これが日常のリスクマネジメントでやられていないとなります。ただ、想定外が起きうるといのが今回の教訓だったんですが、これはどっちなんだろう。現在の対応能力を超えてしまうことがあるという認識を経営者はしなければいけない。その時にも、人の命は絶対救っていただきたい。で、ビジネス、これは危機管理です。残った資材、あるいは人脈、ノウハウ、お金で、残ったもので経営者が最大の努力をして新しい事業を場合によっては作り上げる。従来のところから業態転換をするとか、まっさらな土俵から考えていかなければいけない。そういう覚悟をいっていく必要があるのが実は想定外への対応として経営者には必要になるのではないかと思います。

最後ですが、これらを含めてリスクマネジメントの進め方を1枚の図で表したのがこちらです。縦が経営者の役目です。方針を出すということ、監査をしたり、日常の稟議の承認、そして見直しをやること。これが経営者のやること。日常業務としては、まずリスクの全体を洗い出すということ。80個のリスクを優先順位を付けた評価をすること。これがフェーズの1です。重要なリスクについては、フェーズの2。こちらはそれぞれのリスクごとに、対応する組織を作って被害想定をして、対策をして、有事・緊急事態が起こることも想定してマニュ

アルを作って教育訓練をして従業員を育てて点検をしていく。こうして PDCA を繰り返していく。ですから、企業のなかには重要なリスクに対して、幾つかの PDCA の輪が並行してある。そういうふうにして考えていただくのが一番実務に近いのかと思います。最後、フェーズの3、これは緊急事態発生後の危機管理、緊急事態が発生したとき、緊急対応をして復旧をしてフィードバックをする。このフェーズの1、フェーズ2、フェーズ3を認識をしていただければと思います。ただ、リスクマネジメントをやると、緊急事態をだんだん経験しなくなりますので、危機に弱くなるというジレンマがあります。それを補う

のがこのシミュレーション訓練でございまして、年に一度とか、なんらかの時に、「今日はリスクマネジメントの日」だとリスクマネジメントの全体を洗い出して、危機が起きたらどうしようかというのを考えていただくのがよろしいのではないかと思います。それでは、やや駆け足のところもありましたけれども、全体を通じてなにかご質問がありましたらお受けして、私のお話とさせていただきます。

講演2「中小企業の事業継続計画（BCP）について」

講師 東京海上日動リスクコンサルティング(株)

ビジネスリスク事業部 事業継続グループ

主任研究員 川原場 正義

みなさま、こんにちは。ただいまご紹介いただきました、東京海上日動リスクコンサルティング株式会社の川原場と申します。本日、中小企業の事業継続計画についてということで、先般の震災を踏まえたBCP策定のポイントを中心に、話をさせていただきます。お手元の資料をご覧くださいながら進めてまいります。今回、大きく4つの話をしようとしていまして、1と2が東日本大震災にかかわる概要と、企業活動への影響と教訓、3、4が事業継続計画（BCP）の概要と動向について、（BCP）の策定の流れとポイントということで、話を進めます。特に、3、4の部分を詳しくお話をさせていただき、皆さまのご理解の助けになればと思っています。

それでは、まず東日本大震災の概要ということで、皆さん、ご存じの内容も含まれておりますので、簡単に触れさせていただきます。大震災の地震による影響をまとめた表になっております。3.11に起きまして、断層の長さが450キロメートルで幅が200キロメートル、この断層が最大で20～30メートル動いたという例のないほどの断層のズレだったかと思えます。震度に関しては、最大震度で7というエリアもありますし、6弱から6強、7が大きな被害を及ぼした地域かと思えます。津波に関しましても、沿岸部に大きな津波が襲っております。被害状況ですが、10月4日現在のもので、人的被害は、死者・行方不明者を含めて2万名近くの被害が出ています。続いてのスライドですが、震度分布になります。左側を見ていただくと、よくわかると思えますが、日本全国が揺れたということで、この室蘭市も、先ほどお伺いしたところ、震度3から4くらいの揺れがあったと聞いております。

続きまして、被害の概要ということで、首都圏の話になるのですが、今回天井が落ちた事例が結構ありまして、ここで紹介しているのが2つ。まず、九段会館の天井が落下して、人が亡くなったということ、ニュースでご覧になったかと思えますが、建物的にも古くて重い天井が落ちて、亡くなったということでございます。もうひとつ、ミュゼ川崎というシンフォニーホールがあるので、こちらは平成に入って建てられた建物ですが、いわゆる新耐震基準といわれているもので、これについても天井が落ちて、当時の震度が震度5なんですけど、ほとんどの天井が落ちている。スライドでしかお見せできないのですが、こちらがそれになっています。幸い人がい

なかったんですが、新しい建物でもこう言ったかたちで、天井が落ちることはあると、懐の高い天井の建物は結構落ちやすかったと言えるかと思えます。続いてですが、ホンダの技術研究所ですが、栃木県の芳賀郡というところにありまして、被災地から近いと言えば近いのですが、東北3県とは別の位置にあつて、北関東なんですけど、こちらで天井が落ちたり食堂に壁が崩れて一人が亡くなり、30人以上のけが人が発生した事例でございます。こちらでもスライドだけなんですけど、こういった状況になってしまっています。天井はすべて落ちて、復旧までに相当な時間がかかったという状況です。これ以外にも、われわれの方にお問い合わせいただいた企業さんに、普通のオフィスで天井が落ちている事例が結構あります。天井が震度5クラスで、結構落ちているのがひとつの特徴になっております。

続いて、これもご存じかと思えますが、液状化の被害が特に、千葉県の浦安市を中心に発生しました。右上のマップは、茨城、千葉、埼玉、東京と、赤でハッチングしてあるところが液状化の被害が起きたところで、これだけ広域的に液状化の被害が発生したのは非常に珍しい、過去例を見ない広範囲で起こったということです。その1つの要因となったのは、虹色の図を見ていただきたいのですが、縦軸が震度の強さ、横軸が地震の継続時間です。ここで発生して、震度4、黄色から上の比較大きな揺れが3分程度続いたと、これだけが原因ではないのですが、揺れが長く続いたことがポイントになります。液状化も起きやすくなった1つの要因と言われております。

これは参考までに、阪神淡路大震災と今回の東北の大震災の3つの視点から比較したもののなんですけど、右側が地震の規模・範囲の比較でして、これを見て頂くと一目瞭然なんですけど、範囲が桁違いに大きいと、下の赤い丸はエネルギーの大きさを表しているのですが、阪神の360倍のエネルギーだった。通常、単一圏で起きたということでも防災対策を行ってきたのですが、これだけ広範囲に起こると非常に応援も難しかったというのが課題として挙げられています。もうひとつ、地震の周期の比較という折れ線グラフをご覧くださいなんですけど、真ん中に黄色いハッチがかかっています、これが地震の周期が1秒前後の波の部分なんですけど、阪神のときの地震の周期に比べて今回の東日本大震災のほうが、1秒周期の地震波の揺れは少なかったと、そのため建物への直接的被害が意外に少なかったというのも、ひとつの要因として特性が挙げられるかと思えます。同じ震度でも、地震波の違いが異なることによって、被害は違ってくる。今回、震度5強、6弱でも大丈夫だったという企業も結構いらっしゃるんですけど、地震波の特性によってはもっと大

きな被害が出たかも知れませんが、最後にまとめです。東日本大震災の概要ということで、先ほど、指田の方からも触れておりましたけれども、地震の規模は巨大であった、マグニチュード9.0であった。大きい津波が来襲して被害を残したということ。さらに原子力発電所の事故もあって、原子力災害となったこと。またサプライチェーンが途絶して操業休止に追い込まれた企業が多かったと、大きく4つ、今回の特徴として挙げられると思います。

続きまして、東日本大震災による企業活動への影響ということで、どういった教訓が得られたのかというところを、われわれなりに考えた内容をお話させていただきます。想定外ということで、先ほど指田からも話あったと思いますが、よく聞かれております。確かにこれまでの政府ですとか自治体の被害想定などを見ますと、遙かに超えていますから確かに想定外と言えるかと思いますが、しかし、想定外といいつつも、企業経営していくにあたっての、ステークホルダーという言い方をしていますが、取引先ですとか、従業員、債権者の方、株主等々いらっしゃると思いますが、そうした方々に地震が想定外だったからしかたがないということで許されるのでしょうか、ということが書いてあります。そのステークホルダーからの期待として、企業を継続して存続して利益を上げていくことを期待しているという観点からすれば、想定外だから仕方がないとはなかなか言いにくいのではないかと思います。そのスタンスは許されないというふうに考えていいのではないかと思います。

続いてのスライドですが、想定外は許されない、問題は、ということになります。本当に想定外として越えたものに対して、何も対策をしていなかったことが問題だったのではないかと思います。想定を越える災害については、「対策の取りようがない」「被害は想定できない」「発生確率が小さいとか」そういった理由で十分な検討、検討すら行ってこなかった。それは政府・自治体も同じだと思いますが、問題として挙げられかと思えます。2点目ですが、異議を投げかける人もいたのですが、国としても自治体としても、あまり突飛な想定に対して時間をかけて議論をするというようなことは出来にくかったのかなど。悪い言い方をすると、予定調和的な議論の中で想定外を抑え込んできたのかと思います。例えばということで、宮城県沖地震であれば想定マグニチュードは7.5、三陸一房総沖では8.2と、そういう想定があったなかで、これを越えるものというのは検討というのが取られなかったということが言えるかと思えます。

次のスライドですが、右側が震災前に中央防災会議による被害想定ということで、宮城県沖の震源域が単体で動いた場合の震度分布です。しかし、実際は連動型の地震になってしまったということです。震災の前に宮城県の企業にヒアリングに行ったことがあるのですが、その企業は、うちは5強のエリアだから建物は大丈夫だし建家も使えるので復旧も時間がかからないだろうという想定のもとに、対策をたてられていました。しかし、やはり津波ということでなかなか及ばずに被災されていたと聞いております。

続いてですが、視点を変えて、マクロ的に見てみまして、世界で見たときに日本というのはどう見えているのか。地震・震災に対してどういう見解を持っているのか、見てみたいと思っています。これは世界の震源分布とい

うことで、過去50年間にマグニチュード9クラスの地震を挙げたものです。環太平洋火山帯というなかで、過去50年に7回も起きているんですね。7年前にスマトラ島沖で起きています。これを見たとき、日本で起きない可能性はないと言い切れなと思います。これでも想定外といえるのか。世界をどう見ているかということで、今回の地震は、日本の歴史上、記録に残っている歴史上ということですが、かなり希なものということが言えると思います。しかし、世界的に見れば、50年間に7回も起きている訳だから、それほど希な規模の地震とは言えないんじゃないか。

3点目ですが、世界にとっては、7年前に発生したスマトラ沖地震と同程度だというのが、妥当なところだと思います。次のスライドですが、津波の映像なんですが、問題は、こうした津波の映像とか被害の写真なりが、各国で繰り返し放送されていた訳で、日本はあのような津波が起きて今後も起こる国なんだというイメージを持たれてしまったことを認識しておく必要があるのではないかと思います。世界ではどう見ているかということを押さえて、今後求められるリスクマネジメントについてと、説明責任というのがついてまわるのではないかと思います。ステークホルダーへの説明責任ということで挙げてありますが、多少とも国際的な取り引きに関わっている企業、国内企業でも同じだと思いますが、今回の地震や津波を受けてリスクマネジメントについて、こうしていますと説明責任を果たすということが今後頻繁に求められてくると思います。特に、自動車ですとか、電機、機械を中心としたサプライチェーンが途絶して、供給が停止してしまったというような業界の場合は、当然何かやりますよねということを求めている可能性が非常に高ですし、実際に（BCP）を前提にして、今後契約しますと言い切っている企業もいます。

同時発生事象として、原子力災害、海外の目からみて、どうしていくのか、どう対策するのかが求められています。これだけの地震があって、何もしていませんとか、ここは地震の確率が低いからいいんですとか、想定外は仕方ないんですと、これは通用しなくなっている。実際、日本はどこで地震が起こるかわかりませんし、どんな被害があるかまさに想定外を想定しておく必要がある。適切な被害想定、いわば被害にあうことを前提とした、実効性のある計画・対策が必要になってくると考えています。今後どんな地震が起こるのか想定して対策を考えるべきか。いくつかご紹介をします。東海、東南海、南海地震、これは3連動するとか、日向灘まで続いて4連動するとか言われていますが、これは非常に確率が高い地震になっています。この単一の震源域、南海とか東南海とか、今後30年以内に60%以上の確率で起こる確率になっています。今回の大震災より連動型、もし連動して動いたら首都圏の影響は大きいと言われております。

この室蘭に影響のある地震として、中央防災会議が想定した震度分布・震源域分布です。これは連動することを想定しておらず、単一の震源域、三陸沖ですとか、十勝沖とか、根室沖とかありますが、それぞれ単一に動いたときの震度を重ね合わせたものです。先般の地震で動かなかった三陸沖が動く確率が上がっているのではないかと研究者の間では言われています。これは、単一の震源地が動いた場合の津波の想定です。室蘭の場合は、1から3メートルになりますが、あくまで震災前の単一の震

源地で動いたときの、国の想定です。

続いてですが、活断層の長期評価ということで、地震調査研究推進本部という文部科学省の関連団体なのですが、近傍で関係のある断層ということでは、石狩低地東縁断層帯と黒松内低地断層帯、両方とも30年以内の発生確率が3%以上と高い、ケアすべき断層とされています。因みに阪神大震災の時に動いた断層は10%以上の確率でした。次は、海溝型の地震の発生確率です。十勝沖、三陸沖あたりが影響があるところかと思えます。三陸沖北部は、マグニチュード7から7.6で、90%程度となっています。非常に確率が高いと、もしかすると連動するかも知れない。連動すると同じような地震が起きるような可能性があります。先ほどのものに戻るんですが、石狩低地東縁断層帯と黒松内低地断層帯が動いたときの震度分布です。弊社のシステムを使って出したものなんですが、室蘭のエリアは5弱とか、4とかになるだろうと予想しております。次のスライド、今後求められるリスクマネジメントとして、やはり地震と書いていますが、津波の影響はいろいろと取り上げられていましたが、この赤丸は東日本大震災で操業停止した工場をプロットしたものです。揺れで機械がずれたり、破損したり、天井が落ちたり、そういったことで事業中断してしまったという事例がかなり多かったです。地震の対策、耐震化は重点的にやる必要があると思えます。

参考ですけど、寺田寅彦さんという、災害は忘れた頃にやってくるということを言っている人で、「ものをこわがらな過ぎたり、こわがり過ぎたりするのはやさしいが、正当にこわがることはなかなかむつかしい」と言っております。ここまでが、東北の大震災の概要と教訓ということで、われわれのほうで考えた内容を紹介させていただきます。

ここから、事業継続計画（BCP）の概要と動向ということで、お話をさせていただこうと思えます。

まず、（BCP）で考える対象のリスクなんですが、先ほど指田の話にありましたように、リスクマップを考えてみますと、横軸が頻度です。縦軸が影響が小さい、大きいという軸ですが、頻度は低いんですがいったん起きると影響のリスクが大きいという、このエリアのリスクを対象に（BCP）でも考えます。主に、自然災害が多いのですが、新型インフルエンザなどの感染症といったものに対する対応策ということで、考えていただければと思います。

次ですが、（BCP）とか（BCM）という言葉をお聞きになるかと思いますが、概念の整理をここでさせていただきます。（BCP）は、Business Continuity Plan といい、和訳が「事業継続計画」といいますが、災害などの発生により事業活動に不可欠なリソースが損傷を受け、事業活動が中断した場合に、優先すべき業務をあらかじめ決めておき、許容されるサービスレベルを保つ、許容される期間内に復旧するために、組織体制、事前準備、災害発生時の対応方法などを規程した実行計画。ポイントは、許容されるサービスレベルを保つ、許容される期間内に復旧する。ここが（BCP）の要点になっております。例えばですが、災害などの発生地震などが起こって、事業活動に不可欠なリソースとして、建家、設備、ライフライン、ユーティリティ、電機ガス水道などがありますが、それらが損傷を受けて事業活動が中断してしまった場合に、何を優先して復旧していくのか。これだけは続けて

いかなければならない。取引先を考えてこれだけは優先してやらなければならない。あらかじめ決めておいて、それをどれくらいのレベルでやっていくのか。ある特定のお得意さんにはこれぐらいサービスを供給しなければならない。この製品だけは供給しなければならない。ということを決めて、さらにそれをいつまでにやるんだと、許容される期間内が重要なポイントに。いつまでにというのが、例えば1日も止められないのか、それとも2週間止められるのか、1ヵ月やらなくてもいいのか、それによって対策が全く変わってきてしまいます。重要なお得意さんにある重要な商品なりサービスを供給しているのに対し、あのお得意さんに対して1日も止められないということであれば、もう1つ工場を作っておく必要があるわけです。1ヵ月止めても大丈夫だということであれば、復旧して立て直していく。このいつまでに、どれくらい、何をいつまでにやるかを決めるのが（BCP）の要件です。それを決めた上で、組織体制をどうしていったらいいのか。事前の準備として何が必要か、災害発生時、起こった後にどういうふうに行動していくんだというのを決めていくのが（BCP）です。概念図がありますが、災害にあって成り行きにまかせていると、こういった復旧になりますけれども、きちんといつまでに何をやるかというのを決めておきましょうと、規程するのが（BCP）です。

（BCM）、事業継続マネジメントですが、作った（BCM）を見直しを行ったり、訓練をおこなったり、するということで、実効性を高めてきちんと使えるものにしましょうと、PDCAへまわしていきましょうと、そのための具体的な仕組みなり、（BCP）を含めた概念としての（BCM）、事業継続マネジメントという言葉が使われています。

続きまして、防災対策と（BCP）とで何が違うんだと、同じではないのかというようなことで、整理した表に基づいてご説明します。従来の防災対策は、着眼点としては人命安全、資産保全、ここに着眼点が置かれています。対策の内容として、大きく減災、準備、対応、復旧とわけたとしますと、減災については、耐震対策・消防火設備を整えたり、準備というところでは、備蓄、安否確認システムを揃えたり、対応ということでは自衛消防隊の活動を規程したり、避難・救助をする、復旧というところでは、建物・設備を復旧させます。これが従来の防災対策であったかと思えます。対策の策定単位を拠点単位です。建物ごとです、本社とか工場とかデータセンターとか。拠点ごとに完結していればいいという発想だったと思えます。

これに対して、（BCP）というのは、もちろんこれありきなんですが、それに加えてビジネスの視点というのを組み込んでいく必要があると。人が助かって、建家もなんとか大丈夫だとしても、事業継続できなければ潰れてしまうと、従業員や取引先に大きなメリットをかける、そしてビジネスの視点を踏まえていくのが事業継続計画です。先ほどの定義の話とダブりますが、まず優先すべき業務、重要業務。震災があつてリソースが制限されている中で、なにを優先してやっていくのか、どの製品だけは最低出すんだと、まず特定して、それをどの位のレベルで、いつまでにやるのかを設定します。これがまずありきです。ここが防災対策と全く違うところです。防災対策というのは成り行きといいますか、なんとなく建物を頑丈にして、人が死なないようにやっつけよう、ここにどれぐらいお金をかけるのか検討して、費用対効

果でやってきたと思いますが、まずここを決めていくのが大きな違い。この事業継続なり、いつまでに何をやるかというのを達成するために、どんな対策をしていったらいいのか。そうしたことで対策を考えていくわけです。例えば、代替の生産ラインを持っている必要があるとか、2週間以内にやらなければならないというのであれば、予備部品が1ヵ月後にしか来ないから、予備部品をもっておく必要があるとか、システムに関しては、二重化・バックアップしておかないと、設定した期間内に間に合わないとかの対策のレベルが決まってくるわけです。さらに、起きた後の対応の部分では、どうやって復旧していくんだというところですが、復旧の手順書を作ったり、代替生産・運用の部分を手順書を作っていたり、行動の部分をかきと具体化していく。この考え方の流れが大きく違うところ。策定の単位というのも、自分と自分が無事だったらいいということでは事業継続は成り立ちませんから、サプライチェーン、バリューチェーン、材料を供給してくださる人たちとか、物流ですとか、お客様に製品を届けるまで、サプライチェーンの中でどこが弱いんだ、どういった体制が必要なんだと、流れの中で対策を考えていくというのが大きな違いです。

続きまして、(BCP)の標準化ということで、ここでご紹介するのは国内のガイドラインと、国際標準化の話です。国内でもガイドラインが策定されていて、内閣府のガイドラインが、教科書的なものとしてあります。このガイドラインをもとに、各省庁、各企業は(BCP)を策定されています。あと、経済産業省のものがあったり、中小企業向けには、中小企業庁のガイドライン「策定運用指針」というものが出されております。こういったものを参考に、みなさん、(BCP)を策定しています。国際標準化ということで、ISOの会議が議長国スウェーデンで行われておりまして、日本からも弊社の社員がメンバーとして出ているのですが、2012年頃にISO化のISO22301「緊急事態準備及び事業継続マネジメントシステム要求事項」発行の運びになるかと思えます。(BCP)の策定状況ですが、内閣府が調査した企業向け調査の結果なんです。大企業と中堅企業ということで、策定率を示したもので、大企業で7割超、中堅企業で4割超が(BCP)を策定しているということです。(BCP)は中身はバラバラではありますが、こういった結果が出ています。1つの目安になるかと思えます。

ここから何点か実際に(BCP)が機能した事例ですとか、策定の事例などご紹介したいと思います。

これは東日本大震災で被災した金属鋳造部品メーカーの話なんです。宮城県の企業で、従業員55名の会社です。ここは事前対策として何をやってきたかという、取引先の社長と実務担当者の携帯番号を入手して非常連絡網を作成していた。この会社は、重要業務は「量産品製造業務の再開」としていました。目標復旧時間は「震災から10日後」という目標を定めていました。本社で手がける試作品の製造業務復旧などを後回しにしてやらない。被災後どう対応したかという、震度6強だったので、建家の一部が壊れ、電気溶解炉も故障。社長はちょうど海外に出張していて、大変かと思われたのですが、社員の私物のPHSも使い、当日中に社員の安否が確認できた。翌日に、社員7人が半日かけて計200社に上る取引先に電話をしています。被害状況はこうで、これこれ、これぐらいに何とか供給できそうだというのを、200

社に電話をしている、他社に先駆けて資材を手配して6日後に再開しています。社長のコメントに、「(BCP)があったから社員と事業を守れた」とありました。

続きまして、産業廃棄物の処理業者、テレビなどでも紹介されているのでご覧になった方もいらっしゃるかと思います。名取市にある産業破棄物処理業者で、従業員46名。事前対策として、ここは津波は想定していなかったのですが、重要業務は、「廃油の精製、油水の加工。目標復旧時間は数日から最大30日と設定していました。被災後の対応ということですが、津波は想定していなかったもので、流されてしまった。大型タンク18基はほぼ全てが津波で流されてしまって、設備も数ヵ月かかってしまうと、で、どうしたかという、4日後から登記上の本社がある民家、たぶん社長の自宅だと思えますが、本社機能を移し、協力会社の確認、被災状況の調整などを開始しました。何をしたかという、廃油の精製については、他県のリサイクル会社に仕事を依頼しました。で、この企業から自社の取引先に届ける仕組みを作った。3日で再開した。お客様にとっては、3日で同じような仕事してくれたということになっている。常務のコメントとしては、「(BCP)で優先して行う事業を決めておこなうことは、何からやればいいか途方に迷っていたと思う」が掲載されていました。

続きまして、こちらは阪神淡路大震災で被災して、以後どういう体制をとられたかという事例です。カーナビ部品などを製造している会社で、阪神大震災のとき、本社兼工場が半壊して、10日間操業が停止してしまっただけで、これではまずいということで、現在地に工場を新設移転したんですね。そこで何をしたかという、部品製造に不可欠な「金型」2000個以上を耐震耐火構造の金庫に保管。この金型を取り付ければ自社と同じ製品を製造せざる同業他社の協力工場を、県内外6ヵ所に確保するなど危機管理をしている。あと、携帯電話が不通になるリスクを減らすため、社員が契約する電話会社は大手3社に分散させています。このコメントが素晴らしいことを言っています。「非常時でも事業を継続するのは当たり前。取引先に迷惑をかけないように普段から何をしておくか、です」

続きまして、商工会議所会員企業による取組ということで、(BCP)を策定した事例なんです。焼津の商工会議所の会員企業12社が集まって、漁協ですとか、倉庫業、製造、卸など、いろんな企業が集まって、想定東海地震というリスクを踏まえて、事業継続計画を策定した事例です。これは弊社がお手伝いして策定した事例です。次のスライドですが、雑誌にも紹介されて、(BCP)で地域ブランを守るということで扱われています。

続きまして、工業組合会員企業による取組ということで、これもご参考になるかと思ひまして、ご紹介しますが、神奈川県メッキ工業組合で、災害時における相互応援制度を作っています。自社が被災しても、みんなで協力して相互に製造・生産が続けられるようにしようということで協定を結んでいます。そのために、相互委託加工契約書を作ったり、品質保証協定書などを取り交わして協力体制を作っているのは珍しい事例であります。こういったのも参考になるかと思ひます。

次のスライドですが、(BCP)策定のメリットですが、3点ほど上げています。取引先からの信頼感が高まる。大手のメーカーなどでは、(BCP)を前提に取り引きします

とっているようなところもあります。金融機関に対する信頼も高まるのかなど。政策投資銀行さんで防災格付け融資というのをを行っています。(BCP)を作っている企業で、認定を受ければ融資が受けられるというようなものもございます。あと、もう一つは従業員の使命感が高まるということで、われわれコンサルティングをやらせていただくなかでよく感じるんですが、検討を進めていくなかで自分たちが何をしなければならないかという、自分が先頭に立ってやらなければならないという意識が高まり、使命感が高まってくることがあります。あと、いざというときの損失の最小化が図れます。(BCP)のメリットということで、概念的に表したもので、被災して事業が中断してしまったと、(BCP)があれば、こう簡単にはいかないんですが早期復旧ができ経営の安定につながる。なかった場合は、売上が事業中断によっては、収益力が低下することによって財務基盤が劣化し、例えば同業他社ではすでに復旧しているのに、復旧していないという。風評被害があったりしてお客が流出したりした場合、信用力が低下して資金調達が困難になる。悪循環になることも考えられる。続いて、中小企業(BCP)の考え方ということで、こういう視点で考えてみていかがかなど。自然災害による事業停止も不況等による経営の悪化も資金繰りが厳しくなるという意味では大差がない。

最後になりますけれど、(BCP)策定の流れとポイントで、(BCP)はこういうふうに策定していくというところを簡単にご説明したいと思います。まず、(BCP)の構築と維持管理のプロセスで、(BCP)を策定する場合、6つのステップで検討すべきかと思えます。ステップ1からステップ5までを(BCP)の策定で、ステップ6が計画書に基づいて対策を実施したり、維持管理を行っていく、BCMの定着化、見直しというフェーズに入っていきます。ステップ1の(BCP)の基本方針、(BCP)策定の目的ですとか、策定の範囲、スケジュールを決めていく段階です。ステップ2で、重要な業務の選定、それをいつまでにやるのかを決めてまいります。ステップ3で、優先してやるべき業務、いつまでにやる業務か、決めた業務プロセスの分析・被害想定をしますが、何を使っているか、どんなリソースを使っているかというのを洗い出します。どんな人がやっていて、どんな機械を使って、どんなシステムを使っているか。洗い出して、ある特定の被害想定をして、どんな被害が出るのか想定します。その被害が起きると目標としているいつまでにやるんだというのが、達成できそうにないとなれば対策のところ、どんな対策が考えられるか、それらをまとめて消化していく流れです。あくまで(BCP)の策定はこの検討の中身が重要で、それを文書にまとめてみんなで共有するということです。この文書のひな形をくれということがあるんですけど、これだけあっても何の意味もなく、きちんと検討していくことが重要だと考えます。

ここから、ケーススタディ的に、今のプロセスに沿って検討の流れをご説明してまいります。これはサンプル企業で、実在の企業とは関係ありませんが、サンプル精密工業、所在地室蘭、資本金2500万円、年商12億円、従業員48人。業務内容が機械・精密部品の設計・製作をしている。組織図です。社長がいて、東京、本社工場。本社工場の中に生産部門としてこういったものがあるということになっています。

まず、ステップ1です。ここは基本方針の策定という

ことで、これから(BCP)、(BCM)を策定するにあたって、基本的な枠組みを決めるところです。検討項目の例ということで、例を挙げています。特にポイントとなるのは対象範囲ですね、本社だけで(BCP)を策定するのか。まず生産部門で(BCP)を策定するのか。あとは支社を入れたり、複数拠点を入れて(BCP)を策定するのか。あるいは、想定シナリオリスクです。これを地震にするのか、水害にするのか、われわれにすれば地震による被害の影響というのは、リソース、人とかモノとか、システムに与える影響が一番大きいので、まず地震でやってみて、他のリスク、水害なりインフルエンザとか、他の自然災害にも応用できますよということで、まず地震から取り組むことをおすすめしています。ケーススタディのサンプル精密工業はこういう基本方針を立てましたということ。目的としては、安全を最優先にお客様に製品を届けるという。対象範囲は本社工場、(BCP)推進体制、策定スケジュール、シナリオは直下型地震、というように決めていきます。

ステップ2は、重要業務の選定ですが、先ほど来お話ししていますが、優先的に復旧したり、早期に再開すべき業務、製品・サービスを含めてですが、それを選定し、いつまでにやるのか目標復旧時間を決定。これは絞り込みのイメージですけど、例えば策定単位ということですが、複数事業を抱えている場合、どの事業を対象とするか、これは優先順位が高い、この拠点は最初にやる。大きな枠を作って、それに対して優先する事業ってなんなんだ。それを絞り込んで、優先する事業を構成する業務のどれを先に復旧していく必要があるか。大きなところから小さなところを絞り込んでいく。重要業務を絞り込むときの視点の例としては、例えば収益性が高いとか、シェアとかブランド力と、サプライチェーン上の自社の役割とか、あとは人命に関わる業務とか、こういった指標を総合的に、弊社でコンサルティングするときの分析シートを示して、チェックして評価していくんですが、そのなかで重要だと思われる業務をここで挙げています。いつまでに復旧したいというのをここで決定して。これはサンプル精密工業が選定した重要業務と目標復旧時間です。左に部門ごとにあります、総務課、営業・サービス課、製造課、技術課、品質保証課、東京営業所と、重要業務はそれぞれ、対策本部の業務、周辺の被害状況の収集、そして目標本部立上、1日。この時点の目標復旧時間というのは、これぐらいまでにやらなければならないだろうという仮置きです。製造課であれば、工作機械中・小型部品の製造と納入。特に主要5品目は14日で出すようにしようとか。そういった形で、重要業務と目標復旧時間を仮決めしていきます。

次のステップ、ステップ3ですが、ここで仮決めした重要業務を継続して早期再開して、どんな経営資源、リソースを使っているかをここで洗い出してみるわけです。なにに製品の製造とか、なにに修理業務とかあったとします。業務を実施するにあたって、5つの視点で整理すると、ヒト、モノ、情報、資金、外部に依存しているサービス。ヒトでしたら、技術者、有資格者、モノでしたら、どういった設備を使っているかとか、情報の場合、どんなシステム、どんなデータを使っているかを一通り洗い出していくわけです。洗い出したものについて被害想定というものをしていきます。被害想定というのは、例えば、東京ですと東京湾北部地震が起きましたとい

った仮のシナリオを置いて、いま挙げた重要業務と洗い出したリソースをどんな被害を受けるかを検証していきます。社内の被害、社外の被害を分けて、建物、設備、ユーティリティであるとか、社会インフラがどうなって、サプライヤー・協力会社はこうなると、被害想定をしていくわけです。それによって、どこがボトルネックになるかを把握していきます。ボトルネックというのは復旧にあたって、制約や復旧に長期かかってしまうところを洗い出します。一番止まったら、まずいようなところ、これがないと困るというようなところを洗い出していく。ケーススタディのサンプル精密工業さんはどうしたかという、直下型地震震度 6 強を想定しました。社内の被害ということで、建物被害、本社工場中破、設備については詳細な調査が必要。ライフラインの被害について、電力、復旧に 3 日。ガス復旧に 14 日。電話が 1 週間つながらないとか、上水道はこれだけ止まるとか。サンプル精密工業さんの設備被害ですが、こういったところに被害が出そうだとするところにあたりを付けています。CAD が被害が出そうだ、低周波誘導炉が壊れそうだとか、鋳造機とか、旋盤がこわれそうだとか、あと倉庫が落下して被害が出るのではないかとあたりを付けました。これを図面にしたものがこれです。工場の中でこういった被害が起きるのではないかというのを洗い出したわけです。続きまして、従業員の参集ということで、人自体がなかなかこれない場合も想定されるので、参集率というのもサンプル精密工業ではこんな形で想定をしていました。ここは特に公共交通機関を使って勤務されている場合はこういった形になるのですが、自動車通勤している場合は、これほど大きな参集率を想定しない場合が多いです。

会社の实情にあわせて予測をたてるということです。サンプル精密工業さんは被害想定を受けて、重要業務選定のところで復旧時間を仮置きしましたが、これぐらいで復旧したいというのを実際に被害想定してみたら、これぐらいかかってしまう。現状で予想される復旧時間を今新たに見直してみました。そうすると、総務課の重要業務については、1 日でやりたかったのですがやはり 3 日かかってしまうことに。製造課の例で言えば、主要 5 品目、14 日でなんとか復旧したいというのが、50 日かかりそう。実際にかかってしまう復旧時間をもう一度見直してみるわけです。こんなにかかってしまうんだと、ではどうしたらいいだろう、対策・戦略・検討というステップ 4 に進んで行くわけです。自分たちでこれまでに何とかやりたいという目標復旧時間とその被害想定を踏まえた現状で予想される復旧時間、どうしてもギャップが生まれてきます。それを埋めるために、どうしたらいいか。そこにはボトルネックということで、止まってしまって、復旧に時間がかかってしまう。それを解消するための対策は、どういうことがあるんだと。ここから考えていくわけです。大きく 3 つにわけて、整理していきということで、マネジメントの仕組みを作ってしまうということです。毎年 1 回は見直しを行うとか、いついつには訓練を行うとか、(BCP) を作った段階で、一緒に作っていくということで、維持管理というのもスムーズに行えるのではないかと思います。先般の地震の前に、(BCP) を作ってなんのメンテナンスもしていなくて、全然使え

すけども、初動対応の部分。安全確保、備蓄品、安否確認システムとか。対策本部の指揮命令系統、事業継続関連ですと、データのバックアップをしたり、在庫の積み増しをしたり、特殊技能のクロストレーニングをしておくとか。代替調達先を事前に検討しておくとか。ギャップを埋めるために、こういったことをやりましょうと、いうところを検討していきます。参考なんですけど、先般の震災後に日経ものづくりで紹介されていたものなんですけど、被災したものづくりの会社の担当者さんからのアンケートで、今後の災害対策で重要である・強化したいと思うことで、一番に挙げられていたのは部品・資材調達先の分散でした。事業継続の観点から言うと、拠点間での業務移管体制の整備と、拠点間での生産品目の移管体制の整備が挙げられています。

サンプル精密工業さんの対策戦略ですけれども、設備のところの話ですけれども、低周波誘導炉が壊れる、NC 旋盤が壊れたり、位置ズレを起こしたり、それに対して予想される復旧時間はこれだから、目標復旧時間に近づけるためにこういうことをしたらどうかと、対策方法を考えたわけです。流出防止のための防液堤の設置ですとか、代替生産を委託するとか、いろんな対策をここで考えられたわけです。その他の対策として、生産設備以外に、建物、倉庫、CAD 関連、金型とか。どんな対策が考えられるかというのをここで挙げております。

続きまして、対策というのを社内で検討して挙げてきたわけですが、挙げただけでは実効性がないので、優先順位付けをしていく必要があるかと思えます。それについて、コストという問題がありますので、費用対効果を踏まえて、メリット、デメリットが対策ごとに、どれぐらいかかるんだと簡単に整理して、どういう優先順位でやっていったらいいかを検討し、それをタイムスケジュールに、ロードマップに落とし込んで、今年はずからやっていこうと、来年になったらこれをやろうと、予算を確保した上で対策を実施していく。経営の判断というものがここで入ってくると思います。お金を伴うことになるので、経営者が何からやっていくか、どういう優先順位でやっていったらいいかを、確実にコミットして決めていく必要があるということになります。事前対策以外の、行動の部分ですが、復旧ですとか、初動の安否確認とかも含めて、時系列で被災をした後にどう対応していくかを考えます。必要であればフローチャートも作って準備します。

最後、ステップ 6 ですけれども、作っただけでは、絵に描いた餅になってしまいますので、実効性のあるものにするため、対策を実施し、(BCP) の定着化、見直しということで、やっていくわけですが、対策はケーススタディのところ挙げたように、いつまでに何をしていくというのを明確にするのが非常に重要かと思えます。大事なのは、(BCP) の定着、維持、改善のための施策と

なかったという企業が結構ありました。われわれの方に見直しをしたいということもあって、メンテナンスをしてすぐに使える状態にしておくというのが非常に重要だと考えています。以上、駆け足になって申しわけなかったんですが、今回のお話を終わらせていただきます。

講演3 「事故からの克服とその後のリスク管理」

(株)西野製作所 代表取締役社長 西野 義人

(株)西野製作所、西野でございます。本日は、企業リスク管理の考え方とその実践ということで、当社が今から5年前に被災したというか、火災を起こしてしまったその事故からの克服とそのリスク管理という内容で、お話をさせていただきます。その前に、あらかじめ言い訳をしておくんですけど、私、こういう場、慣れていません。進行上稚拙な部分多々あると思うんですけど、そのへんはご容赦ください。

まず実際の被害が起こってことをご説明する前に、弊社の会社概要をご紹介したいと思います。創立は昭和46年、今から40年前です。会社として設立したのが、昭和55年になります。資本金は1000万円。現在の従業員は37名。中島本町1丁目に所在しております。業務内容ですが、機械部品の製作および修理を行う会社です。各種の工作機械によって、切削の加工を行っています。硬質クロームメッキ、溶射加工、特殊溶接など、表面改質技術を保有して加工を行っています。取引先は、室蘭市内から道内一円にかけて、本州方面からの受注も割合としては3割程度あります。当社は製品在庫を持たない完全受注型です。お客様の要望により製品を作ったり、直したり、現状では超多品種で極少量生産というようなことで、会社は運営されています。近年は機械部品のリユースを実現する環境技術カンパニーという謳い文句で、希少部品の再生、延命加工に取り組んでいます。

火災発生以前ということになります。当社は、現在モルエ中島ショッピングセンターの山手に位置しております。当時は敷地内に、住宅が一戸あるだけの工業地帯という括りになっています。消失前は独立した事務所1棟と、第一、第二、第三工場と三つの工場建家をつないで使用していました。主に、消失した第一工場は昭和30年代に建てられた木造部分、あと奥につながっています昭和50年頃に建てられた鉄骨造り、この木造と鉄骨をつなげて使用していました。火災発生時、当日の北海道新聞の夕刊記事から引用させていただきますが、状況としては、平成18年10月30日、午前4時15分、通行人が工場から火の手が上がっているのを発見して119番通報。消防第二種出動ということで、これは室蘭市内全消防に出動がかかったということです。最終的には第一工場の木造部分を全焼、二階事務所部分の壁を焦がして4時間後に鎮火、被害は第二、第三工場の一部にも及んだという結果になりました。(写真を示しながら)鎮火後様子です。先ほど見ていただいた木造部分の建家が消失したんですが、窓がすべて焼けて落ちています。壁も、外側はトタンだったんですが、消失して落ちています。ここに水溶性の切削液を置いておくものだったんですが、ほぼ満タンの灯油が入っていたと記憶しています。ただここには直接火がこなかったということで、これまで燃えていたら、もっと被害が拡大していたと思われます。こちらが工場内部を撮影した写真です。ここに旋盤、フライス盤、NC旋盤とかあるんですが、手前側に屋根があったんですが、崩れ落ちています。これも鎮火後の内部映像です。木造の建家ということで、合掌造りだったんですが、上の方の屋根の部分が特に焼けたんで、上からの熱でかなり高い部分が損傷しています。こちら、マシ

ニングセンターになりますけれど、本来ここは樹脂のカバーで覆われている部分なんですけど、熱によって燃えますし、基盤ごと燃えてしまったということもあって全損になりました。これもフライス盤になりますけれど、製品が乗っていて、最終的にはこの製品を使うことができたんですが、ここにある機械は全焼ということになりました。手前にある瓦礫なんですけど、本来は三角屋根があったんですが、落ちました。電源ボックスの内部も完全に焼けて使い物ならなくなっています。工場内部に動力線、電源・ブレーカーを設置するのに、壁に付けてあったんですが、この垂れ下がっている線はすべて被覆がなくなってしまった電線になります。当社の裏にグラウンド、サッカー場があって、そこから見た写真です。このところがなんとなく損傷が激しいのかなと。工場内に設置してありました事務所にあったパソコンや、顕微鏡なども置いてあったんですが、それらもすべてダメになってしまったという状況です。さらに、電動後部、その他の治具ですけども、放水によって水に浸かってしまったということでダメになってしまったということと、事務所の二階、従業員の休憩室になってましたけれども、工場側からこの窓を伝って火が入ってきたという状況で、壁と天井に損傷を負ったという状況になります。出火原因としては、漏電が疑われたんですが、万遍なく焼けている状況から、古い工場であったということと、動力線を屋根づたいに這わせてあったので、その動力線を伝って燃えてしまったのではないかとということです。

復旧ということで、火災の発生後にまず考えたのは、当然ですがわれわれの商売を再開すること。そのために従業員の雇用確保をするということ。お客さんをつなぎ止めるということ。外注先への協力を取り付けること。幸いにも被害が第二、第三工場においては少なかったということ。動力、電源なんですけど、火災の際にすべて電源が遮断されていたので、それが復旧した2日後から、第二、第三工場においては、生産を再開することができました。この第二、第三においては、第二工場は大型機械、メッキ研磨機などが置いてある工場、第三工場においては、溶接と溶射という設備があったということで、メインとなる工作機械のほとんどが第一工場にあったので、主力の部分は失ったということで、生産能力は相当ダウンしたんですが、第二、第三工場が生きていたおかげで、なんとか動かすことができたということです。ただ、10月30日ということで、あと2か月もすれば冬も迎えるということで、雪が降る前に仮設の工場を立ち上げたかったのが、この時点です。当然電源がすべて落とされているので、電源がなく、そうなるクレーンが使えないということでした。第一工場は足の踏み場もない状態で、モノの撤去作業は人力で、すべて人の手で行いました。当時、消防・警察の現場検証が終わって、出火当時の午後から撤去を始めました。材料、できた製品もありましたし、修理を請け負っているのでお客さんからお預かりした製品というのも多数あって、それをより分ける作業も並行して進めなければならなかったんで、手でやるしかなかったということです。これらの瓦礫が多数あって、翌日くらいから、私もトラックを運転して、石川町にあるゴミ消却場にもって行って、神代町にある最終処分場へ重量を量ってから捨てるに行くという作業を延々と何往復繰り返したかわからないという状況が続きました。

この写真、上のほうですが、火災から10日経って木造の部分の撤去を開始しました。屋根、壁含めて撤去しないと、重機が入れないということで、やっと重量物が出せるという状況が確保できるというところまで、10日かかっています。これも使えなくなった工作機械、これを搬出している様子です。これは、壁・屋根も取って剥き出しになっていますが、この状況でクレーンを使って行えるようになりました。火災前まではフルに生産できた機械なんで、もったいないという思いはおおいにあったのですが、このように使えないという機械でしようがなく見送ったということがありました。壁と屋根がなくなって、フォークリフトとかその他の重機が入れるようになりました。放水などによって、機械の中にあつた切削水ですとか、油があふれ出してフロア全体にヘドロ状のもの清掃を17日目から開始して、復旧につなげて行くということでやっていました。復旧ということでは、仮設の工場を立ち上げたいということで、火災から21日たったところで、足場が組まれました。難を逃れた部分の養生も行って、仮設工場の建設にむけて、いろいろなモノの設置が進んでいます。第一工場に関して言いますと、内部はもともとは木造だったんですが、鉄のフレームを組んで天井クレーンを設置して使っていたんで、木造の建物はなくなったときに、そのフレームを移動してそれに屋根をつけて、壁をつけて、そこを仮設の工場にしようとしていました。仮設の工場の設置と並行しまして、燃えてしまった機械の代替えとなる機械を全国からかき集めてきたということになります。仮設工場の屋根が完全に塞がってしまう前に、上のほうからクレーンを使って機械を搬入するという作業を行っています。

火災直後にお話をいただいたのですが、苫小牧のお取引先が、直ちに機械がダメになったでしょ、名古屋のほうにこんな機械があるといったリストをいち早く持って駆けつけてくれた方もいました。ある程度復旧ということで、年末までに仮設工場・機械類を含め立ち上げることができました。その仮設工場も、電気工事だとか、消防への届け出ですとか、許認可などを行って、消防設備なども12月20日くらいに取り付けることができ、年前に許可が下りたという状況です。万が一、仮設の工場で、火事を出してしまったら目もあてられないという状況もありました。そのへんは、万全を期したということなんです。工場としては仮設が立ち上がったんですけども、まだまだ方肺飛行の状況だったんですが、ある程度生産能力を復旧させることを見越して年を越すことができました。ただ、出火以前の能力を取り戻すために、新工場の建設を急ぐ必要がありました。さらに仮設の工場を操業しながら、影響のないように新工場の建設を進める必要があると、物事を進めていきました。当時の会社の状況は、当然生産能力は落ちました。それに伴って売上も落ちてはいました。前年度比で約40%くらいはダウン、あるいは半分くらいに落ちていたかもしれません。ただ、おかげさまで受注件数に関しての減少はありませんでした。10月30日に火災が起きまして、今回、その当時のことを思い出すために受注の台帳を見ましたが、9月、10月、11月、12月に至っても前月と同じくらいの受注を確保できていたということがありました。継続するということでは、従業員の協力によって、被害のなかった機械を、生産能力が落ちているので昼夜交替で稼働するというを行いました。あと、外注先に協力を得てお客さ

んに迷惑をかけないという最低限の生産能力を維持しました。とは言いましても、納期の延長などの要望を聞き入れてもらって、それから継続できる状況を作っていました。これは出来上がった工場の外観になります。正面と真裏からみたものです。こちらが仮設工場の内部、こちらが新第一工場となりますけれども、建設が進んでいます。操業を続けながら、外側に新第一工場を建設して、仮設の工場を撤去していったということになります。都合、3回くらい機械の移動をしました。なおかつ操業をしながらとう状況がありました。

(写真を見ながらの説明)これが当社の外観になります。工作機械に関しては、中古の機械を集めたり、水を被ったりして電気関係がダメになったものに対しては、使える部分をよりわけてモーター類を総取り替えることもしましたし、当社で一番大型のNC旋盤なんですけど、これは滋賀県のリペアをしてくれるメーカーさんに送って8ヵ月後に、こういう形で戻ってきて、今もフルで動いています。その後、新しい工場になったので、災害・火災に強い工場にしなければいけないという思いもありました。出荷前には業容の拡大に伴って、工場増設をしようとしていたということで、災害に対する備えが十分でなかったということが正直ありました。

新工場の建設や事務所などの修復とあわせて、当然ですが法令を遵守した形で災害に強い工場へ生まれ変わるということをめざしていました。弊社の取った対策は、火災に対して強くするにはとにかく燃えない、燃える部分をすべてなくしてしまうということで、今回の出火で罹災しなかった工場でもまだ木造の部分が残ったんですが、すべて撤去をしました。で、改築ということで新たにしています。原因となりそうな部分を徹底して排除することを行っています。新工場の建設にあわせ、全工場内の火災報知器の完備、これは当たり前といえば当たり前なんですけど、増築を重ねていたということで出来ていなかったということと、事務所部分の火災報知器については、さらに増設を行ったということです。火災に弱かったという部分では、増築を重ねていくなかに本来工場の外に設置されているはずのガスの集合設備、保管場所が建家と建家の間にあるようになってしまったということで、実際ここは直接火は届かなかったんですが、熱の影響でアセチレンのバラ瓶が置いてあったんですが、何本か火が入ったということがあって、なおかつ高温に晒されたということで、安全の栓が抜けてしまって何十本か、お貸ししていただいたところに弁償を行いました。当然、ここに火が届いていれば、私は今この場にはいなかったと思います。第二、第三工場も残ることがなかったと思います。そうした不安要素を排除しようとして、ガスの集合設備を外に設置することになりました。この第二工場の脇なんですけど、戸建てがあったんですが、法令に従って住んでいた人に出発して撤去を行いました。ガスの集合設備と取り出し口も集約をして工場内にバラ瓶を置かないというような設計にしています。出火原因の特定は出来なかったんですが、漏電による火災だろうということで、以前剥き出しのままブレーカーを設置していました。これが万遍なく火がまわった要素だったのかなど。電源ボックス内にブレーカー類を集約しています。弊社は、作業において若干の粉塵を伴う部分もあるので、剥き出しにしていると当然その粉塵が中に入って悪さをすると、熱をもつということもあると、そ

れを未然に防ぐとようになっています。これは被災しなかった工場ではまだまだ出来ていない部分も、順次進めているところです。

延焼の要因の排除としては、隣接した工場同士で、火災を免れる構造になっていなかった。第二工場の窓から火が入って、火が届きそうな勢いでした。ここを新たに防火壁と防火シャッターを設置して、こちら側からの火もあちら側からの火も届かないという状況に変更しています。事務所においては、1階はあったんですが2階のほうにも感知器を増設しています。火災直後から電源が遮断されたということで、増設を繰り返していた工場だったことで受電設備からの配線が不明であったことから、ここからの電気がどこへ行っているのかを明確になっていなくて、電源を復旧させるために、かなりな確認作業を伴って時間がかかったということで、すべて色分けしてどこへ電源が行っているのかを示すようにしています。後、去年からですが分煙化、火災を一度出しているという意識改革のために喫煙をする場所を分煙化をしたということで、工場のなか3カ所に設置しています。

火災を経験してということで、当然なんですけど経験しないのが一番だと思います。起きてしまってからでは取り返しがつかない。後悔してもしきれないということになります。後悔しないために、今できる対策を少しずつでもいいから積み重ねて行くべきではないかと。当然制約というのはあります。お金がないとか、時間がかかるということがあると思いますが、危険要因というのがどこかにあるのだろうと、見つけ出してそれに対して出来る範囲の対策は、すくなくともとって置くほうが、いいなと今となっては思います。5S だとか、ハウレンソウといった改善を取り入れまして、それらを継続してリスクを見つけ出そうということをしなければいけないかなと。5S というのは、製造業に関しても、改善を行っていると思いますが、5S の中で整理、整頓、清掃の部分で、特に通常のあるべき姿を維持することが清掃につながると。普段見慣れている部分で何となく機械の動きがおかしくなってきたとしても、普段使っていると気が付かないですが、その元々の能力を維持するためにということを考えて、普段から見過ごしていることがないかということに気を止めることになるのかなと思います。

そうは言っても万が一、火災は起きるまではそんなこととと思っていましたけど、起きてしまったもの、被害を最小限に食い止めるというのは出来ないのですが、それに対する備えですが、弊社は火災保険には入っていました。最終的には火災保険金も下りたのですが、それで次につながるということもできました。保険に入ることも考慮しなければいけないと思っています。弊社にとって、不幸中の幸いは従業員が不安の中みんなが頑張ってくれたということ。「昼夜機械を動かして頑張ってくれ」ということを話したんですけど、「首を切られるかと思いました」と正直に言った人間もいたんです。それはないということで、この時点で残念ながら一人だけ離職したのがいましたが、それ以外辞めることもなく残ってくれました。

さらに、お客さんから発注が継続されたこと、被災後の11月以降も受注件数に関して減少することはなかったです。お客さんには納期の遅れなどでご迷惑をかけたんですけども、それ以降も仕事を継続できたということで、われわれにとっては仕事があるんだということで、お客

さんに必要とされていると言う部分が自信につながったということもあります。いろんな方が駆けつけてくれて、有形無形、精神的にも助けられました。われわれだけでは対応できないことがあって、実際の行動につなげるためにも助言をいただいたということもあります。第一工場が罹災したんですが、第二、第三がほぼ無傷でした。電源さえ復旧すれば仕事ができるという状況があった、仕事ができる、生産ができるということが励みにつながった部分もあります。信用問題につながる部分なんですけど、お客さんから預かっていた修理部品を奇跡的にもひとつもなくすことがなかったということが、お客さんからの信用を失うことにならなかったと思います。

最後にまとめとして、当時、私自身のことを言いますと、無我夢中ですね、当時の記憶はありません。今回、発表するために写真などの資料を見て、それに載っている日付を見てこんなことがあったんだということを思い起こしてたんですが、何かあったときに反省や自戒の念をこめるという意味では、しっかりと記録しておいたほうがよかったのかなと思います。私は当時35歳で、体力には自信があったんですが、火災後に会う人ごとに、「寝てるかい」とか「休んでいるかい」とか声をかけられることが多くなって、当時、そうとう人相が悪くなっていたのかなと。災害に会ったときにこそ、本人はもちろん、家族も含めて健康管理をしっかりして、復旧復興にあたらなければならないかなと思いました。

たくさんの方から、慰め、励ましの言葉をかけていただきました。ここに、室蘭民報の11月4日の朝刊記事がありますが、「活気戻る日を心待ち」との記事を掲載していただきました。この記事で、エールを送ってもらったと、われわれを、復旧を待ち望んでくれている人がいるんだと、必要とされているだけで励みになりました。これからも必要とされる人であり企業であり続けなければいけないと、決意をした記事です。以上が拙い内容ですが、私からの報告になります。最後に、事業の継続というのはいろいろな手法があるとは思いますが、最終的にはそれを続けて行こうとする人の情熱、はっきりとした目的意識の上に成り立つモノではないかと思った次第です。

【平成 23 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

研究経費及び件数の推移

展示会出展助成事業

技術相談件数

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	大学側研究者	民間機関等研究組織
1	連続繊維（FRP）版を用いた RC 円柱部材の水中耐震補強工法の開発	くらし環境系領域 ※教授 岸 徳光 講師 小室 雅人 講師 栗橋 祐介	三井住友建設(株) 技術開発センター 主席研究員 三上 浩
2	シリカスケールの形成メカニズムに関する研究	もの創造系領域 ※講師 境 昌宏	TOTO(株) 衛陶生産本部 衛陶技術部 衛陶材料技術グループ グループリーダー 一木 智康
3	次世代高性能シリコン薄膜デバイス製造に向けた低温シリコン膜の研究開発	しくみ情報系領域 ※教授 福田 永 もの創造系領域 准教授 植杉 克弘	帝人(株) 融合技術研究所 所長 城 尚志
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 ※講師 小室 雅人 教授 岸 徳光 講師 栗橋 祐介	(株) 構研エンジニアリング 取締役 川瀬 良司
5	自動車用部品の肉厚変動部のレアアースレス薄肉球状黒鉛鋳鉄の良品条件の確立および品質確認システムの構築	もの創造系領域 ※教授 清水 一道 (ものづくり基盤センター長)	佐藤鋳工(株) 品質保証部品質管理課 課長 三浦 孝之

民間等との共同研究

NO	大学側研究代表者	件数
1	くらし環境系領域 教授 溝口 光男	2
2	くらし環境系領域 教授 鎌田 紀彦	1
3	くらし環境系領域 教授 岸 徳光	7
4	くらし環境系領域 教授 小幡 英二	1
5	くらし環境系領域 教授 木村 克俊	1
6	くらし環境系領域 教授 濱 幸雄	4
7	くらし環境系領域 准教授 太田 光浩	2
8	くらし環境系領域 准教授 中津川 誠	1
9	くらし環境系領域 准教授 田邊 博義	1
10	くらし環境系領域 特任教授 田畑 昌祥	2
11	しくみ情報系領域 教授 岩佐 達郎	1
12	しくみ情報系領域 教授 板倉 賢一	1
13	しくみ情報系領域 教授 福田 永	2
14	ひと文化系領域 准教授 上村 浩信	1
15	もの創造系領域 教授 河合 秀樹	2
16	もの創造系領域 教授 佐藤 孝紀	2
17	もの創造系領域 教授 清水 一道	8
18	もの創造系領域 教授 相津 佳永	2
19	もの創造系領域 教授 辻 寧英	1
20	もの創造系領域 教授 桃野 正	2

21	もの創造系領域 教授 埜上 洋	2
22	もの創造系領域 教授 風間 俊治	2
23	もの創造系領域 教授 平井 伸治	2
24	もの創造系領域 教授 媚山 政良	1
25	もの創造系領域 講師 境 昌宏	2
26	もの創造系領域 講師 松本 大樹	1
27	もの創造系領域 講師 長船 康裕	2
28	もの創造系領域 准教授 花島 直彦	1
29	もの創造系領域 准教授 岸本 弘立	2
30	もの創造系領域 准教授 魚住 超	1
31	もの創造系領域 准教授 植杉 克弘	1
32	もの創造系領域 特任教授 桑野 壽	1
33	もの創造系領域 教授 齋藤 務	2
34	航空宇宙機システム研究センター 教授 東野 和幸	2
35	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

民間機関等からの受託研究

NO	大学側研究代表者	件数
1	くらし環境系領域 教授 中野 博人	1
2	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 准教授 中津川 誠	1
4	くらし環境系領域 特任教授 田畑 昌祥	1
5	しくみ情報系領域 助教 雨海 有佑	1
6	しくみ情報系領域 助教 寺本 渉	1
7	もの創造系領域 教授 高木 正平	1

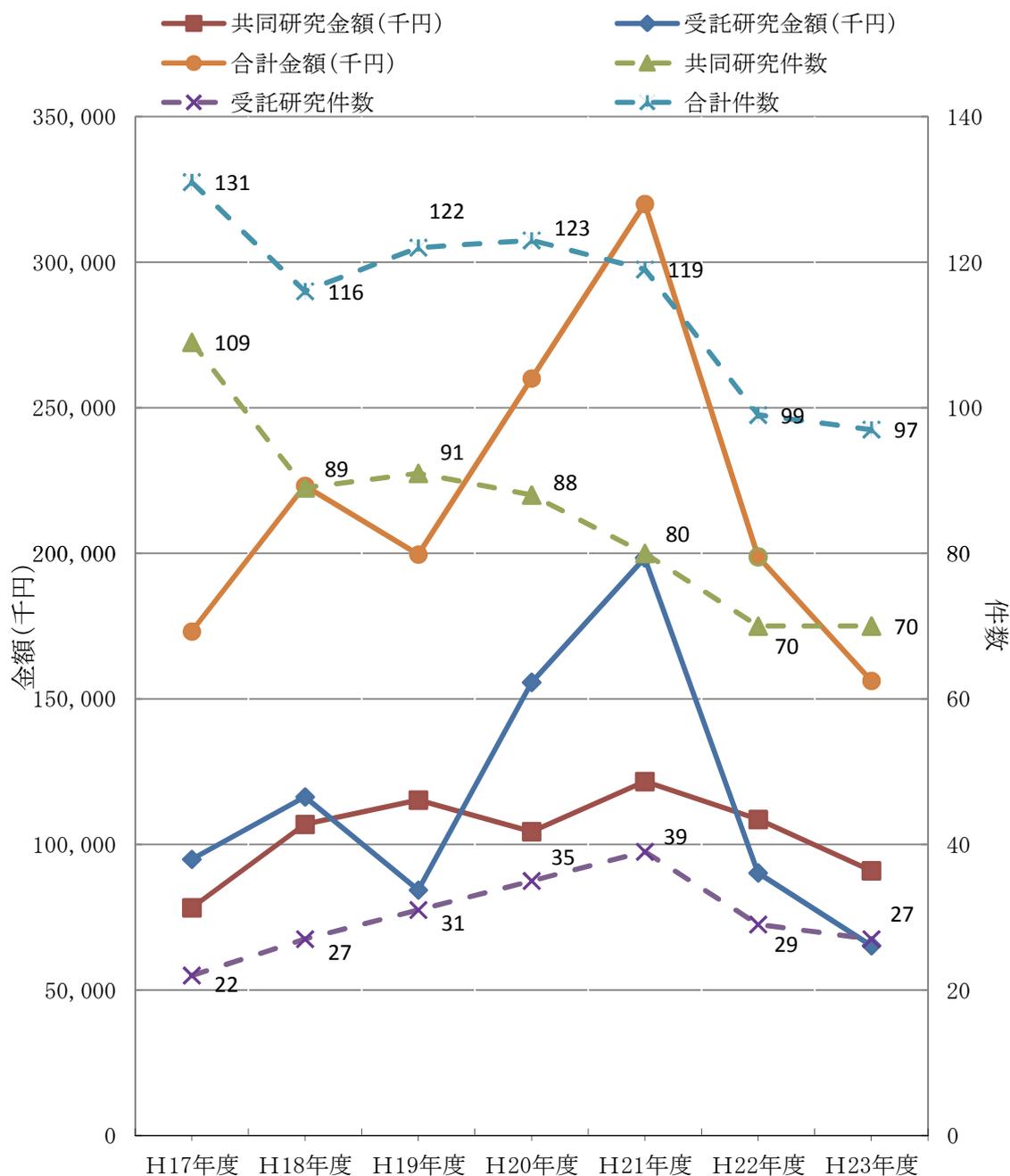
8	もの創造系領域 教授 世利 修美	1
9	もの創造系領域 教授 清水 一道	10
10	もの創造系領域 教授 平井 伸治	1
11	もの創造系領域 講師 松本 大樹	4
12	もの創造系領域 准教授 花島 直彦	1
13	もの創造系領域 准教授 戸倉 郁夫	1
14	もの創造系領域 准教授 澤口 直哉	1
15	OASIS(環境・エネルギーシステム 材料研究機構) 特任教授 香山 晃	1

プレ共同研究

NO	研究題目	大学側研究代表者	民間機関等研究組織
1	高輝度 LED を用いた光治療器の開発	もの創造系領域 教授 相津 佳永	(株)電制 取締役開発本部長 須貝 保徳
2	医療系廃棄物の水熱反応分解処理工程での放電脱臭技術開発	もの創造系領域 教授 佐藤 孝紀	(株)EMI 代表取締役 石森 鋼男
3	ステンレス・フレキシブルチューブの健全性評価	もの創造系領域 准教授 藤木 裕行	トーフレ(株) 経営企画室長 清水 茂夫
4	可搬型擬似夜明け療法器の開発と医学的検証	ひと文化系領域 准教授 三浦 淳	(株)プラウシップ 代表取締役 千葉 武雄
5	ペポカボチャに含まれる栄養成分の評価および新規活性成分の探索研究	くらし環境系領域 准教授 上井 幸司	(株)阿部産業 代表取締役 阿部 萬千雄

「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

	H17年度	H18年度	H19年度	H20年度	H21年度	H22年度	H23年度
共同研究金額(千円)	78,243	106,890	115,267	104,386	121,628	108,559	90,961
受託研究金額(千円)	94,902	116,319	84,313	155,676	198,380	90,219	65,243
合計金額(千円)	173,145	223,209	199,580	260,062	320,008	198,778	156,204
共同研究件数	109	89	91	88	80	70	70
受託研究件数	22	27	31	35	39	29	27
合計件数	131	116	122	123	119	99	97



「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

【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タとその応用
申請教員：もの創造系領域 教授 青柳 学
展示会名：TECNO-FRONTIER 2011 第20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) 東展示棟
開催期間：平成23年7月20日(水)～22日(金)
入場者数：33,705名(20日(水) 9,094名, 21日(木) 9,664名, 22日(金) 14,947名)
出展内容：1. 単相駆動・双方向回転円環形超音波モータの実演
2. ジャイロモーメントモータを応用した独楽の実演
3. 減衰伝送パイプによる粉体輸送の実演
4. 圧電振動部と機械駆動点を分離配置した超音波モータの実演
5. 細径パイプ伝送路を用いた超音波モータ実演の実演および各ポスター展示

2. 出展研究シーズ名：エコランプロジェクト 自律四輪バギー車
申請教員：もの創造系領域 講師 廣田 光智
展示会名：札幌モーターショー2012
開催場所：札幌ドーム(札幌市)
開催期間：平成24年2月17日(金)～19日(日)
入場者数：125,195名(17日(金) 26,511名, 18日(土) 49,463名, 19日(日) 49,221名)
出展内容：1. 教育成果としてのエコランプロジェクトの展示
2. 研究成果としての自律四輪バギー車の展示

【技術相談】

58件

【平成 23 年度 事業活動】

研究協力会

事業推進検討会

講演会

CRD セミナー

展示会出展等

事業活動

1. HiNT 連絡会報告

連絡会概要

- 1) 技術移転フォーラム2011「工業試験場」成果発表会のご案内について
- 2) 地域団体商標「めむろごぼう」「めむろメーカーン」「大黒さんま」の3件が登録
- 3) 平成23年度民間企業の研究開発力強化及び実用化支援事業(新規産業創造技術開発費補助金)に係る公募について
- 4) HiNT連絡会のメーリングリスト拡大予定について
- 5) HiNTセミナーの講演テーマについて
- 6) その他
北海道大学 平成23年度産学連携本部組織について

主 催：(独)産業技術総合研究所 北海道センター
日 時：平成 23 年 4 月 26 日(火) 15:30 ~
場 所：R & B パーク札幌大通サテライト HiNT(札幌市)
参加者：10 名

2. 研究協力会役員会及び総会

【議 題】

1. 研究協力会役員を選出について
2. 平成 22 年度活動報告及び決算について
3. 平成 23 年度事業計画(案)について
4. 平成 23 年度予算(案)について
5. その他

【特別講演】

演 題：「室蘭工業大学の研究がめざすところ」

理事(学術担当) 空閑 良壽

【情報交換会】

日 時：平成 23 年 6 月 9 日(木) 14:00 ~ 18:30
場 所：中嶋神社 蓬峯殿(室蘭市)
参加者：37 名

3. 第 1 回 CRD セミナー

テーマ：身の回りの放射線

しくみ情報系領域 講師 沖野 典夫

【情報交換会】

主 催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター
共 催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 研究協力会
室蘭工業大学 同窓会 札幌支部
日 時：平成 23 年 6 月 10 日(金) 18:00 ~ 18:40
場 所：札幌グランドホテル「2F 金枝の間」(札幌市)
参加者：118 名

4. 第 1 回 MOT(技術経営)実践講座

テーマ：経営者としての製品開発の取組

ショーワ(株) 代表取締役社長 山田 豊

主 催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター
日 時：平成23年7月4日(月) 10：25 ～ 12：10
場 所：室蘭工業大学 N302
参加者：46名

5. 平成22年度ブレ共同研究成果報告会

テーマⅠ：温度画像を用いた移動ロボットのナビゲーションに関する研究
もの創造系領域 准教授 花島 直彦
テーマⅡ：粘膜疾患用超音波チップの開発
もの創造系領域 教授 青柳 学

主 催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター
日 時：平成23年7月4日(月) 15：30 ～ 17：30
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：13名

6. 大手企業による大学訪問

日 時：平成23年7月7日(木) 9：00 ～ 11：30
場 所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 他

7. 第2回CRDセミナー

テーマ：東日本大震災からの復興と社会資本制度
くらし環境系領域 教授 田村 亨

主 催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター
共 催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 研究協力会
室蘭工業大学 同窓会 水元技術士会
日 時：平成23年7月8日(金) 18：00 ～ 18：50
場 所：ホテルポールスター札幌「メヌエット」(札幌市)
参加者：48名

8. 第2回MOT(技術経営)実践講座

【講演】

テーマ：もの作りでオンリーワン技術を目指す
トーフレ(株) 代表取締役 中野 勝利

主 催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター
日 時：平成23年7月11日(月) 10：25 ～ 12：25
場 所：室蘭工業大学 N302
参加者：55名

9. 北海道医療産業研究会 定例会議

【室蘭工大の医師等による研究シーズ紹介】

テーマ：「高照度光療法の効果と光療法器の開発」
ひと文化系領域 准教授 三浦 淳
もの創造系領域 准教授 湯浅 友典

日 時：平成23年7月13日(水) 15：00 ～ 17：00
場 所：R&Bパーク札幌大通サテライト HiNT(札幌市)
参加者：14名

10. 第3回MOT(技術経営)実践講座

【講演】

テーマ：開発工学 -新商品の成功率向上のために-

NPO法人 失敗学会 理事・元 三菱化学(株) 理事 中田 邦臣

主催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター

日時：平成23年7月25日(月) 10:25 ~ 12:20

場所：室蘭工業大学 N302

参加者：47名

1.1. 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

日時：平成23年7月28日(木) 14:30 ~ 17:30

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

1.2. 産学連携支援会議

日時：平成23年8月10日(水) 15:00 ~ 17:30

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：18名

1.3. 北洋ものづくりテクノフェア 2011

【本学からの出展パネル】

「錆びにくく摩耗しにくいタフな鉄系材料 ステンレス球状炭化物鋳鉄材料」

ものづくり基盤センター長・もの創造系領域 教授 清水 一道

「柔軟弾性体のエンドミル加工」

もの創造系領域 准教授 寺本 孝司

「単相双方向回転超音波モータと超音波搬送装置」

もの創造系領域 教授 青柳 学

「白樺外樹皮からベチュリン製造技術の開発」

くらし環境系領域 特任教授 田畑昌祥, 助教 馬渡 康輝

「複合極限環境評価法による先進材料開発」

環境・エネルギーシステム材料研究機構(OASIS)

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, (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, EMS-JP北海道 他

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

協賛：札幌コンベンションセンター

日時：平成23年8月19日(金) 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3,700名 参加企業：149社

14. 「環境・ものづくり未来セミナー in 室蘭」～ 環境都市から資源の創出を！～

～ 移動工業試験場 ～ (環境関連産学技術開発促進事業)

【講演】

テーマⅠ：レアメタルのリサイクルについて

もの創造系領域 助教 葛谷 俊博

テーマⅡ：リサイクルのための粉碎処理技術

北海道立総合研究機構 工業試験場 環境エネルギー部 内山 智幸

テーマⅢ：都市鉱山からのレアメタルリサイクルについて

北海道立総合研究機構 工業試験場 環境エネルギー部 富田 恵一

主催：地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 産業技術研究本部

共催：(財)室蘭テクノセンター

後援：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター，北海道胆振総合振興局，室蘭市 他

日時：平成23年9月9日(金) 13:30～16:00

場所：(財)室蘭テクノセンター(室蘭市)

参加者：59名

15. 産学交流プラザ「創造」北海道電力(株)京極発電所見学会

日時：平成23年9月13日(火) 8:15～18:50

場所：北海道電力(株)京極発電所(虻田郡京極町)

参加者：37名

16. 北海道医療産業研究会 定例会議

【事例紹介】

テーマ：医療生活産業へのデザインと看護学の連携

札幌市立大学 理事長・学長 教授 原田 昭

【各プロジェクトの概要報告】

日時：平成23年9月14日(水) 15:00～17:00

場所：R&Bパーク札幌大通サテライト HiNT(札幌市)

参加者：14名

17. 道内電気計装エンジニアリング研修会

日時：平成23年9月16日(金) 10:00～17:00

場所：ニッテツ北海道制御システム(株)

参加者：37名

18. イノベーション・ジャパン 2011 大学見本市／第10回産学官連携推進会議 同時開催

【本学からの出展パネル】

「ライフサイエンス：高光学純度医薬品合成中間体の新しい合成法」

くらし環境系領域 教授 中野 博人

「レーザー皮膚血流・血液濃度変化同時イメージング」

もの創造系領域 教授 相津 佳永

主催：(独)科学技術振興機構，(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構

共催：文部科学省，経済産業省，内閣府

日時：平成23年9月21日(水) 9:30～17:30，22日(木) 10:00～17:00

場所：東京国際フォーラム

参加者：28,324名

19. (株)日本製鋼所・室蘭工業大学技術交流会

テーマⅠ：室蘭工業大学の最新研究シーズの紹介

地域共同研究開発センター 准教授 嶋田 秀一

テーマⅡ：高温熱流解析，シミュレーション

もの創造系領域 教授 埜上 洋

【工場見学】

【総合討論】

日時：平成23年10月7日(金) 13:30 ~ 16:30

場所：(株)日本製鋼所 室蘭研究所

参加者：18名

20. 新日本製鐵(株) 室蘭製鐵所・室蘭工業大学技術交流会

総合テーマ：室蘭工業大学のシーズ情報発信と討議

テーマⅠ：画像計測を応用した検査技術の高度化

もの創造系領域 准教授 高氏 秀則

テーマⅡ：ロボット技術を応用した先進的な自動化

もの創造系領域 准教授 花島 直彦

【工場見学】新日本製鐵(株) 室蘭製鐵所 関連工場

ニッテツ北海道制御システム(株)

【総合討論】

主催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター，新日本製鐵(株)

日時：平成23年10月11日(火) 13:00 ~ 17:45

場所：新日本製鐵(株) 室蘭製鐵所

参加者：14名

21. 産学交流プラザ「創造」他地域企業訪問

主催：産学交流プラザ「創造」，室蘭地域環境産業推進コア，(財)室蘭テクノセンター
室蘭工業大学 地域共同研究開発センター

日時：平成23年10月12日(水) ~ 13日(木) 9:00 ~ 20:30

場所：北海道バイオエタノール(株) (上川郡清水町)，東洋農機(株) (帯広市)
(株)土谷特殊農機具製作所(帯広市)

参加者：21名

22. 第24回大学・企業技術交流会／フロンティア技術検討会

総合テーマ：企業のリスク管理の考え方とその実践

テーマⅠ：企業のリスクマネジメントについて

東京海上日動リスクコンサルティング(株)

経営企画室 企画グループ 主席研究員 指田 朝久

テーマⅡ：中小企業の事業継続計画(BCP)について

東京海上日動リスクコンサルティング(株) ビジネスリスク事業部

事業継続グループ 主任研究員 川原場正義

テーマⅢ：事故からの克服とその後のリスク管理

(株)西野製作所 代表取締役社長 西野 義人

【産・学・官交流会】

主 催：室蘭地域産学官連携事業実行委員会

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

(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

日 時：平成 23 年 10 月 19 日(水) 14：00 ～ 19：15

場 所：中嶋神社 蓬峽殿(室蘭市)

参加者：104 名

2 3. 高度技術研修(函館会場)

テーマⅠ：非鉄金属材料の腐食 ～ 銅・アルミニウムを中心に ～

もの創造系領域 講師 境 昌宏

テーマⅡ：異種金属接触腐食のメカニズムと事例および対策

(株)竹中工務店 技術研究所 建設技術研究部 部長付 山手 利博

テーマⅢ：建築および熱交換器用銅管の腐食とその対策

室蘭工業大学 客員教授(ショーワ(株) 代表取締役社長) 山田 豊

テーマⅣ：亜鉛めっき鋼管の腐食事例と対策

新菱冷熱工業(株) 中央研究所 材料環境グループ 松川 安樹

テーマⅤ：各種環境水のレジオネラ属菌対策

アクアス(株) つくば総合研究所 所長 縣 邦雄

主 催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター

共 催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 研究協力会

(社)腐食防食協会 北海道支部，(社)空気調和・衛生工学会北海道支部

(社)軽金属学会 北海道支部，公益財団法人 函館地域産業振興財団

函館管工事業協同組合

日 時：平成 23 年 10 月 26 日(水) 13：00 ～ 17：20

場 所：ロワジールホテル函館(函館市)

参加者：67 名

2 4. 高度技術研修(札幌会場)

テーマⅠ：非鉄金属材料の腐食 ～ 銅・アルミニウムを中心に ～

もの創造系領域 講師 境 昌宏

テーマⅡ：異種金属接触腐食のメカニズムと事例および対策

(株)竹中工務店 技術研究所 建設技術研究部 部長付 山手 利博

テーマⅢ：建築および熱交換器用銅管の腐食とその対策

室蘭工業大学 客員教授(ショーワ(株) 代表取締役社長) 山田 豊

テーマⅣ：亜鉛めっき鋼管の腐食事例と対策

新菱冷熱工業(株) 中央研究所 材料環境グループ 松川 安樹

テーマⅤ：各種環境水のレジオネラ属菌対策

アクアス(株) つくば総合研究所 所長 縣 邦雄

主 催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター

共 催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 研究協力会
(社)腐食防食協会 北海道支部, (社)空気調和・衛生工学会北海道支部
(社)軽金属学会 北海道支部, 札幌市管工事業協同組合
日 時：平成 23 年 10 月 28 日(金) 13:00 ~ 17:20
場 所：札幌コンベンションセンター(札幌市)
参加者：75 名

25. 第3回 CRD セミナー

【講 演】

テーマⅠ：橋梁の補修・補強法に係る工大での取り組み
くらし環境系領域 教授 岸 徳光
テーマⅡ：非鉄金属材料の腐食 ～銅・アルミニウムを中心に～
もの創造系領域 講師 境 昌宏

【情報交換会】

主 催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター
共 催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 研究協力会
室蘭工業大学 同窓会札幌支部(札幌支部定時総会で開催)
日 時：平成 23 年 10 月 29 日(土) 16:30 ~ 17:20
場 所：オーセントホテル小樽 2F (小樽市)
参加者：35 名

26. ビジネス EXPO「第 25 回北海道 技術・ビジネス交流会」

【本学からの出展パネル】

「橋梁の健全性評価と長寿命化」
くらし環境系領域 教授 岸 徳光
「先進国型サプライサイクルシステムの構築」
ものづくり基盤センター長・もの創造系領域 教授 清水 一道
「柔軟弾性体のエンドミル加工」
もの創造系領域 准教授 寺本 孝司
「単相双方向回転超音波モータ」
もの創造系領域 教授 青柳 学
「複合極限環境評価法による先進材料開発」

文部科学省先端研究施設共用促進事業 環境・エネルギーシステム材料研究機構(OASIS)

主 催：北海道 技術・ビジネス交流会実行委員会
日 時：平成 23 年 11 月 10 日(木) 10:00 ~ 17:30 ~ 11(金) 9:30 ~ 17:00
場 所：アクセスサッポロ(札幌市)
参加者：17,970 名

27. 第4回 CRD セミナー(産学交流プラザ「創造」 室蘭工大シーズ紹介)

テーマⅠ：「何かの最小と最大へのアプローチ」
しくみ情報系領域 教授 施 建明
テーマⅡ：「かしこい有機材料—光に応答する機能性有機材料の開発」
くらし環境系領域 教授 中野 英之
日 時：平成 23 年 11 月 17 日(木) 15:00 ~ 17:30
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：20 名

28. 西いぶりの企業力 2011

【本学からの出展パネル】

「橋梁の健全性評価と長寿命化」

くらし環境系領域 教授 岸 徳光

「先進国型シップリサイクルシステムの構築」

ものづくり基盤センター長・もの創造系領域 教授 清水 一道

「地域医療のための情報社会基盤技術の創成」

サテライト・ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー長・もの創造系領域 教授 相津 佳永

「家庭用健康診断支援ロボットの開発」

もの創造系領域 准教授 湯浅 友典

「ロボットアリーナにおける地域貢献活動」

ロボットアリーナ事業推進室 室長 教授 相津 佳永
構成員 教授 青柳 学, 准教授 花島 直彦, 准教授 寺本 孝司
准教授 関根 ちひろ, 准教授 本田 泰, 准教授 高氏 秀則

「ロボットサッカーコンテスト」等

主催：(社)北海道中小企業家同友会 西胆振支部

日時：平成23年11月20日(日) 11:00 ~ 16:00

場所：室蘭市市民会館 2F(室蘭市)

参加者：200名

29. 社会連携統括本部発足講演会

【講演】

司会 地域共同研究開発センター・産学官連携コーディネーター 石坂 淳二

開会挨拶

学長 佐藤 一彦

「社会連携統括本部の設立にあたって」

社会連携統括本部長・理事 野口 徹

「科学技術政策の動向と産学官連携施策の方向性」

文部科学省 科学技術・学術政策局 産業連携・地域支援課 専門職 竹下 勝

【特別講演】

テーマⅠ：信州大学における産学連携活動 ～繊維学部キャンパスにおける活動を中心に～

信州大学 繊維学部 創造工学系 S V B Lセンター長・教授 小西 哉

テーマⅡ：室蘭工業大学における社会連携の使命と展望

地域共同研究開発センター 准教授 鴨田 秀一

まとめと閉会挨拶

理事補・教授 板倉 賢一

【情報交換会】

日時：平成23年11月30日(水) 15:00 ~ 17:30

場所：室蘭工業大学 事務局 大会議室

参加者：66名

30. 第5回 CRD セミナー(苫小牧地域産学官金連携セミナー)

テーマⅠ：「大規模広域災害発生時の情報通信の状況と対策」

苫小牧工業高等専門学校 電気電子工学科 教授 奈須野 裕

テーマⅡ：「東日本大震災における組織的心理支援活動
—日本赤十字社の急性期支援—」

ひと文化系領域 准教授 前田 潤

【情報交換会】

主 催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター，苫小牧工業高等専門学校
後 援：室蘭工業大学地域共同研究開発センター研究協力会，中小企業家同友会苫小牧支部
苫小牧商工会議所
日 時：平成23年12月5日(月) 16:30～18:20
場 所：苫小牧経済センタービル(苫小牧市)
参加者：28名

3.1. 社会医療法人 製鉄記念室蘭病院との共同研究に関する打合せ

日 時：平成24年1月19日(木) 9:00～12:00
場 所：社会医療法人 製鉄記念室蘭病院(室蘭市)
参加者：7名

3.2. 医工連携「介護予防機器に関する研修会」(イノベーションシステム整備事業)

「平成23年度文部科学省大学等産学官連携自立化促進プログラム(コーディネーター支援型)」

【講演】

司会 地域共同研究開発センター・産学官連携コーディネーター 石坂 淳二

開会挨拶

社会医療法人 製鉄記念室蘭病院 理事 事務長 山口 秀一

研修会趣旨説明

もの創造系領域 准教授 花島 直彦

特別講演

「RTCにおける介護支援ロボット関連技術の研究開発」

理化学研究所 理研-東海ゴム人間共存ロボット連携センター

ロボット感覚情報研究チーム・チームリーダー 向井 利春

講演

「ロボットによる体操呈示とモニタリング」

もの創造系領域 准教授 花島 直彦

質疑応答(総合討議)

閉会挨拶

地域共同研究開発センター長・教授 加賀 壽

主 催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター

後 援：社会医療法人 製鉄記念室蘭病院

日 時：平成24年2月8日(水) 17:45～20:00

場 所：社会医療法人 製鉄記念室蘭病院 講堂(室蘭市)

参加者：53名

3.3. 本学シーズ紹介(室蘭市商工会議所建設部会)

「本学の建設社会基盤系教員の研究内容を紹介」

主 催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター

日 時：平成24年2月28日(火) 13:30～14:15

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：19名

34. 連携・協力協定締結1周年記念(室蘭工業大学・土木研究所 寒地土木研究所 共同セミナー)
積雪寒冷地域における社会基盤施設の長寿命化に向けて

開会挨拶
司会 暮らし環境系領域 教授 木幡 行宏
学長 佐藤 一彦

【セミナー】

基調講演

「土木構造物の長寿命化と維持管理」

独立行政法人 土木研究所 理事長 魚本 健人

研究紹介

1. 「橋梁の補修・補強に係る室蘭工大の取り組み」

暮らし環境系領域 教授 岸 徳光

2. 「コンクリート構造物の長寿命化に向けて」

寒地土木研究所 寒地基礎技術研究グループ 耐寒材料チーム

上席研究員 田口 史雄

3. 「海域施設の長寿命化に向けて」

暮らし環境系領域 教授 木村 克俊

4. 「農業水利施設の凍害劣化と長寿命化」

寒地土木研究所 寒地農業基盤研究グループ 水利基盤チーム

上席研究員 中村 和正

閉会挨拶

独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所 所長 川村 和幸

【情報交換会】

主催：室蘭工業大学，独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所

日時：平成24年2月28日(火) 14:30～19:40

場所：室蘭工業大学 A304 講義室

参加者：230名

35. 第6回 CRD セミナー

総合テーマ1：連続繊維（FRP）板を用いた RC 柱部材の水中耐震補強工法の開発

テーマⅠ：FRP 板水中補強した RC 梁の曲げ耐荷性能に及ぼすコンクリート表面処理の影響

暮らし環境系領域 講師 栗橋 祐介

テーマⅡ：FRP 板水中補強した RC 梁の曲げ耐荷性能に及ぼす補強材の材料特性の影響

暮らし環境系領域 教授 岸 徳光

テーマⅢ：FRP 板水中巻付け補強したコンクリート円柱の圧縮載荷実験

客員教授(三井住友建設(株) 技術開発センター 副センター長) 三上 浩

総合テーマ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

テーマⅠ：北海道内の国道における橋梁の劣化状況に関する現状分析

客員教授((株)構研エンジニアリング 常務取締役) 川瀬 良司

テーマⅡ：鋼方杖ラーメン橋の固有振動特性に関する現地実験および数値解析

暮らし環境系領域 講師 小室 雅人

テーマⅢ：耐候性鋼材を用いた既設橋梁の腐食損傷推定に関する簡易評価手法の可能性検討

暮らし環境系領域 教授 岸 徳光

主 催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター
日 時：平成 24 年 3 月 9 日(金) 10:00 ~ 12:15
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：32 名

36. 産学官連携フォーラム(イノベーションシステム整備事業)

「平成 23 年度文部科学省大学等産学官連携自立化促進プログラム(コーディネーター支援型)」

— 平成 23 年度産学官連携活動報告 —

司会 地域共同研究開発センター・産学官連携コーディネーター 石坂 淳二

開会挨拶

地域共同研究開発センター 准教授 鴨田 秀一

【講 演】

平成 23 年度産学官連携活動報告

「地域に密着した産学官連携活動の現状とこれからの課題」

地域共同研究開発センター センター長・教授 加賀 壽

【情報交換会】

主 催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター

日 時：平成24年3月13日(火) 18:00 ~ 20:15

場 所：中嶋神社 蓬峯殿(室蘭市)

参加者：59 名

37. 胆振ものづくり産業連携推進セミナー

【講 演】

(1) 特別講演：「ものづくり産業と支援機関との関わり」

講師 地域共同研究開発センター センター長・教授 加賀 壽

(2) 特別講演：「自動車産業におけるサプライチェーン」

講師 いすゞエンジン製造北海道(株) 代表取締役社長 大澤 正伸

主催者

「胆振ものづくり産業振興連携会議」

・構成機関 (株)日本政策金融公庫室蘭支店, (株)北洋銀行, (株)北海道銀行, 室蘭信用金庫
苫小牧信用金庫, 伊達信用金庫, 室蘭工業大学, 苫小牧工業高等専門学校
(財)室蘭テクノセンター, (財)道央産業技術振興機構
苫小牧市テクノセンター, 室蘭商工会議所, 苫小牧商工会議所
登別商工会議所, 伊達商工会議所, 北海道中小企業団体中央会胆振支部
室蘭市, 苫小牧市, 登別市, 伊達市, 北海道胆振総合振興局

日 時：平成 24 年 3 月 14 日(水) 13:30 ~ 16:30

場 所：室蘭プリンスホテル 4 階「鳳凰の間」(室蘭市)

参加者：40 名

38. 医工連携「共同研究中間報告会」

【報 告】

テーマⅠ：「介護予防体操へのロボット技術の応用」

もの創造系領域 准教授 花島 直彦

テーマⅡ：「ICT(情報通信技術)による健康への取り組み」

もの創造系領域 准教授 魚住 超

日 時：平成 24 年 3 月 15 日(木) 17:45 ~ 19:00

場 所：社会医療法人 製鉄記念室蘭病院 講堂(室蘭市) 参加者：60 名

39. 産学交流プラザ「創造」

主催：産学交流プラザ「創造」、室蘭地域環境産業推進コア、(財)室蘭テクノセンター
室蘭工業大学 地域共同研究開発センター

日時：平成24年3月21日(水) 14:00～16:30

場所：中嶋神社 蓬峯殿(室蘭市)

参加者：18名

40. 事業推進検討会

【討 論】

1. 平成23年度CRDセンター事業について
2. 新しい産学官連携体制について
3. その他

日時：平成24年3月22日(木) 13:30～15:00

場所：室蘭工業大学 事務局 中会議室

参加者：23名

41. 「次世代人材育成プログラム：室蘭経営革新塾」修了

— ビジネススクール(経営学大学院)のエッセンス・コース —

日時：平成23年11月24日(木)～平成24年3月24日(土) 12回 19時～21時

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：延べ参加者312名

42. 定期刊行物(平成24年3月現在)

1. 研究報告 No.22
2. センターニュース No.24
3. ニュースレター No.98～No.99

43. ピロティでの展示

教員の研究シーズパネル展示(16テーマ/月)

44. HiNT(札幌市)での展示

教員の研究シーズパネル展示(1テーマ/月)

**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