室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

# 室蘭工業大学地域共同研究開発センター研究報告 No. 21 全1冊



| メタデータ | 言語: jpn<br>出版者: 室蘭工業大学地域共同研究開発センター<br>公開日: 2016-11-22<br>キーワード (Ja):<br>キーワード (En):<br>作成者:<br>メールアドレス:<br>所属: |
|---|---|
| URL | http://hdl.handle.net/10258/00009062 |

室蘭工業大学

# 地域共同研究開発センター
# 研　究　報　告

No. 21










Dec. **2010**

*Center for Cooperative Research and Development*

*Muroran Institute of Technology*

# ― 目　次 ―


**【平成 21 年度　共同研究プロジェクト成果】**

(1) マイクロ波加熱を用いたアスファルト舗装道路の原位置補修方式の検討 ・・・・・・・・・・・・ 1
鏡　　愼，川口 秀樹，溝渕　優

(2) 水中硬化型接着樹脂を用いた AFRP 版の水中接着補強工法を適用した RC 梁の静載荷実験 ・・・・ 5
三上　浩，岸　　徳光，小室　雅人，栗橋　祐介

(3) 各種骨材を用いたモルタル・コンクリートの乾燥収縮特性 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 11
濱　幸雄，松下 文明，柴田 純夫

**【平成 21 年度　プレ共同研究成果】**

(1) バイオエタノールロケットエンジンの材料適合性に関する実験的研究 ・・・・・・・・・・・・・ 15
棚次 亘弘，　東野 和幸，　湊　亮二郎，　中田 大将，　木元 健一

(2) 次世代表面弾性波デバイス製造に向けた微細加工技術に関する研究 ・・・・・・・・・・・・・・ 21
植杉　克弘，　小川　健吾，　福田　永

(3) 耐蝕性に優れた鋳鉄の開発 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 24
長船 康裕，藤原 貴志，佐々木 彬光

**【フロンティア技術検討会／第 22 回大学・企業技術交流会講演録】**

テーマ：世界と地域から地球環境への取組みを考える

演　題：オバマ大統領のグリーン・ニューディール政策から日本を考える・・・・・・・・・・・・・ 28
エネルギー戦略研究所(株) 取締役研究所長　山家 公雄 氏

**【平成 21 年度 共同研究等事業実績】**

共同研究プロジェクト，プレ共同研究，共同研究，受託研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 36

**【平成 21 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 ・・・・・・・・・・・・・・ 42


**【表紙写真】**

上左：研究協力会総会後の特別講演会
中左：第 2 回ＭＯＴ(技術経営)実践講座
下左：フロンティア技術検討会／
　　第 22 回大学・企業技術交流会

上右：第 8 回産学官連携推進会議
中右：平成 21 年度 第 1 回ＣＲＤセミナー
下右：平成 21 年度 第 2 回高度技術研修

【平成 21 年度 共同研究プロジェクト成果】

# マイクロ波加熱を用いたアスファルト舗装道路の原位置補修方式の検討

鏡　　愼[*1]，　川口 秀樹[*1]，　溝渕　優[*2]

## 1 はじめに

道路舗装で広く用いられているアスファルト舗装では新設，補修のいずれにおいても再生材を利用することが多くなってきている．この場合，補修の必要な部分のアスファルト混合物が引きはがされ，プラントに輸送されたのち，重油バーナーによって加熱溶解され，その後必要に応じて新規の合材などを加えて再生処理の完了となる．これはアスファルトはもちろん，アスファルト混合物の 95%を占める骨材も重要な資源であることによる．一方，この再生と補修を原位置で行うことができれば輸送のためのエネルギーが不要となることから，原位置での路上再生処理法が提案されているが，灯油バーナーの加熱効率が極めて低いほか，舗装表面部分のアスファルトが過熱によって炭化してしまう，装置が大規模になるなどのゆえに，本格的に導入されるには至っていない．

これらに対して著者らはマイクロ波加熱によるアスファルト混合物溶解処理を提案している．アスファルト混合物中の骨材は 1～2%の水分を含んでいて，一般家庭の電子レンジでも使用されている，2450MHz のマイクロ波のエネルギーをよく吸収する．水分が加熱され温度上昇することで骨材が温度上昇し，その周りに付着しているアスファルトを溶解する．直接加熱であることから加熱効率が高く，バーナー加熱の場合のような過熱によるアスファルトの炭化もない．さらに，バーナーによる場合よりも装置の小型化が期待できることから原位置での路上再生処理の実現を可能にするものとして大きな期待が持てる．

ところで、マイクロ波によってアスファルト混合物がよく加熱できることは以前から知られていた事実ではあるが，プラント処理も含めて，その再生などの処理技術としては本格的に採用されてこなかった．これは，原位置から引きはがされてきたアスファルト混合物の塊をプラントにおいてマイクロ波を使用して安定的に加熱することには，通信分野を主流とするマイクロ波工学の一般的な立場からみて不確定な要素があまりにも多いことに原因があった．これに対して，原位置における加熱の場合は，亀裂や凹凸があるにしても引きはがされた場合よりははるかに限定された範囲の条件下にある加熱対象であることに著者らは着目し，高効率で品位の高いアスファルト混合物再生工法の開発に着手したというのが経緯である．

ここで著者らはマイクロ波をアスファルト舗装面に照射する際に楕円形断面を有する空洞を採用している．これは楕円の短軸付近が焦点を共有する二つの放物線で近似される，いわゆる共焦点型の場合，短軸付近にエネルギーの集中するモードを発生させ易いという事実を利用するものである．マイクロ波電源によってまず空洞を安定なモードで励振し，さらにこの状態を崩さずにアスファルト舗装に対して安定的にマイクロ波を放射することの可能な開口をこの空洞に設けようという考えである．

## 2 アスファルト舗装構造と楕円断面空洞を用いたマイクロ波加熱溶解補修

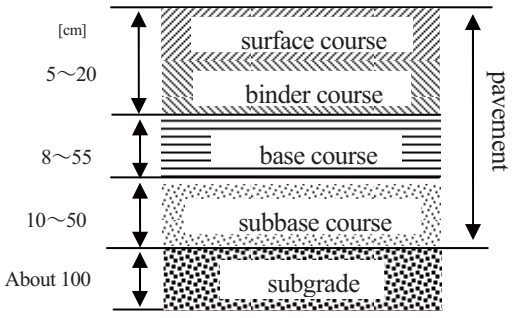



Fig.1 Constitution of asphalt pavement.

*1 もの創造系領域
*2 客員教授・(株)NIPPO コーポレーション

アスファルト舗装の構造は Fig.1 に示す通りで，通常厚さ５cm 程度のアスファルト混合物が３層敷設されている．舗装において亀裂や凹凸が発生した場合に補修が行われるが，その対象は表層のみである．従って，マイクロ波による加熱もこの厚さ 5cm の範囲に集中させる必要があり，同時に周囲への漏えいも防がなければならない．

採用した空胴の断面は共焦点型の楕円であるが，短軸付近に界の集中する主要なモードは短軸方向長が自由空間波長 λ=12.24cm の半分のほぼ奇数倍であるときに発生すると予想されることから，基本となる構造として，短軸方向長を 3.5λ として 428mm，長軸方向長 606mm，厚さ 54.5mm を選定した．厚さ 54.5mm は WRJ-2 導波管の E 面の長さである．屋外で使用するためマイクロ波電源の構造は可能な限り簡単な構造が望まれる．現在入手できるもので，空冷で使用できる最大の出力の 3kW のマグネトロンを前提として考える場合，これを用いたマイクロ波電源を多数台並列に動作させることを考えておかなければならない．実用的な補修の処理速度を期待すると，エネルギー密度を高くする点からこの空胴の厚さは上記の 54.5mm 以下にする必要も考えられる．

２次元および３次元の数値解析の結果, 断面については上記の寸法よりも 3.7%大きい, 短軸方向長 444mm, 長軸方向長 628mm の楕円が目的のモードを発生することがわかった．またこのとき断面に垂直な方向における界の均一性も確認されている．さらには，これらは実験によっても確認されている．

以下，この空胴を，堅固なモードを持ち，かつアスファルト舗装へのマイクロ波の効率的な放射を行うための開口部を有する，バッファとして機能させるための試行を紹介する．

## ３ 楕円断面空胴における開口の設定

### 3.1 楕円の周の一部の２重化による開口

まず, Fig.2 のように楕円の周の一部を２重化して開口部を設けることによって，水平方向へのマイクロ波の放射が可能になると考えた. Fig.2 は概念図であって, 実際には励振位置（導波管取り付け位置）, 開口の位置を調整しても，主要モードを維持することが不可能でマイクロ波の放射を安定的に行うことができなかった. 理由として挙げられるのは，空胴の大きさが波長の精々数倍程度であって，周において，上記の主要モードを形成するに必要な楕円の周の部分がかなり広い範

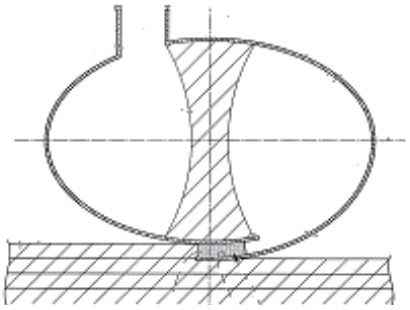


Fig.2 Radiating aperture based on doubled circumference.

囲に及んでいて，なおかつこの部分を回避して有効な放射が行える開口を設けることが困難なことである．

### 3.2 楕円の周の一部に設けた開口

楕円の周を変形せずに，単純に一部を開口としても基本モードが維持でき，同時に開口から有効なマイクロ波放射が可能な場合があると考え，その位置と大きさを 2 次元の数値解析によって求めた. Fig.3 の開口状態のときに Fig.4 のように短軸上に電界（絶対値）の 7 個の山が並ぶ分布が得られ，開口を短軸に関して非対称に設置しても対称な基本モードが維持できることがわかった. この結果から, Fig.5 のような実験を行った. 図のグレーで示す部分は 300mm×300mm×50mm のアスファルト混合物の供試体でこれを 3 枚重ねたものに 2000W のマイクロ波を 60 秒間供給した．このとき空胴からの反射電力は 140W であった．加熱後 3 枚の供試体の表面，裏面の熱画像が Fig.6 である．1 枚目表面で 90℃まで達してはいるものの，加熱の必要のない 2 枚目, 3 枚目にもかなりの電力が吸収される結果となっている．開口位置などを調整しても放射方向がほぼ舗装面に垂直になってしまうことは避けられず高い効率を求めることはこの形式では困難なことがわかった.

### 3.3 短軸下部に水平方向の開口を持つ小室を設ける

短軸下部の周上にスリットを設けこの外側に小室を設け，これを水平方向に向いた開放端を有する導波管として接続する方式について検討した. Fig.7 に示すようにスリット幅 40mm，小室の幅 109mm，高さ 72mm のときに空胴内では基本モードが成立し，かつ小室の左方向の開口からマイクロ波を放射できることが数値解析の結果判明した. Fig.8 は解析結果の電界の分布を絶対値によって示すものである. これに基づいて Fig.9 のような実験を行った．3.2 と同じく 2000W のマイクロ波を 60 秒間供給した. このときの空胴からの反射電力は 150W であった．加熱後の 3 枚の供試体の熱画像が Fig.10 である．1 枚目表面で 120℃に達している点

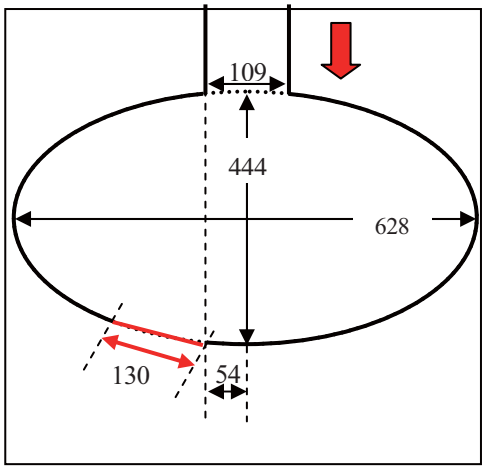



Fig.3 The opening on circumference.of the cavity.

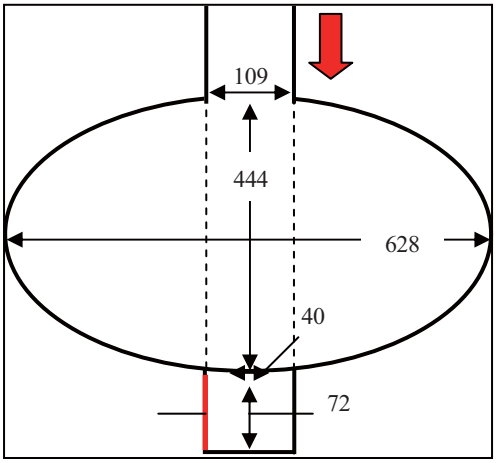



Fig.7 The opening of chamber combined with the cavity through a slit.

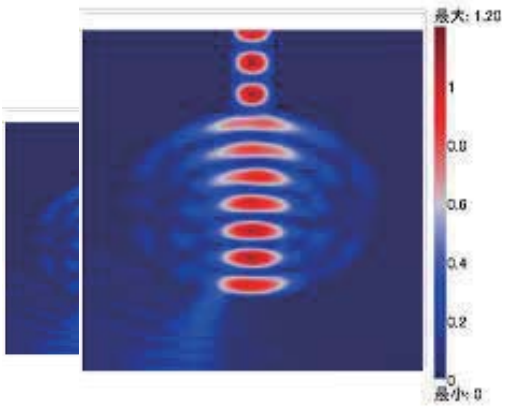



Fig.4 The electric field distribution.

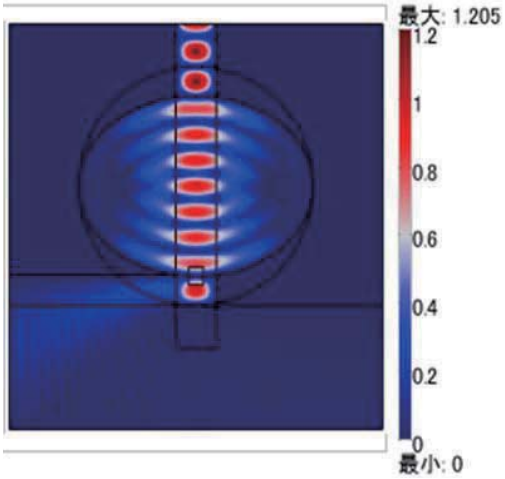



Fig.8 The electric field distribution.

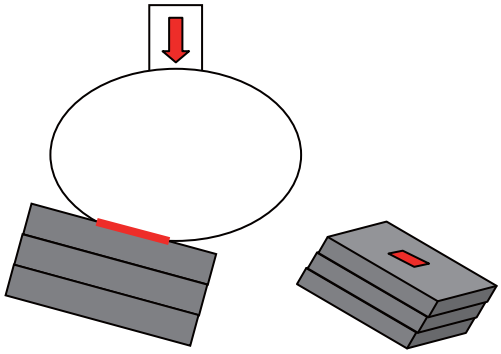


Fig.5 The experiment corresponding to Fig.3.

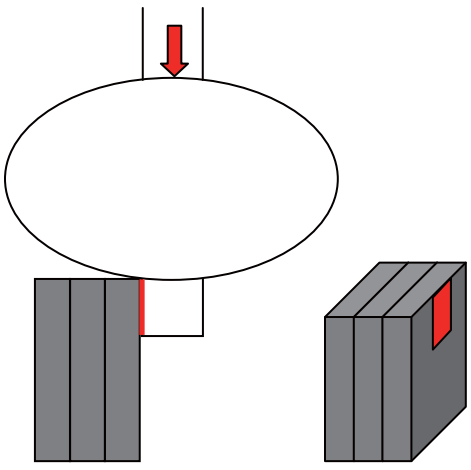
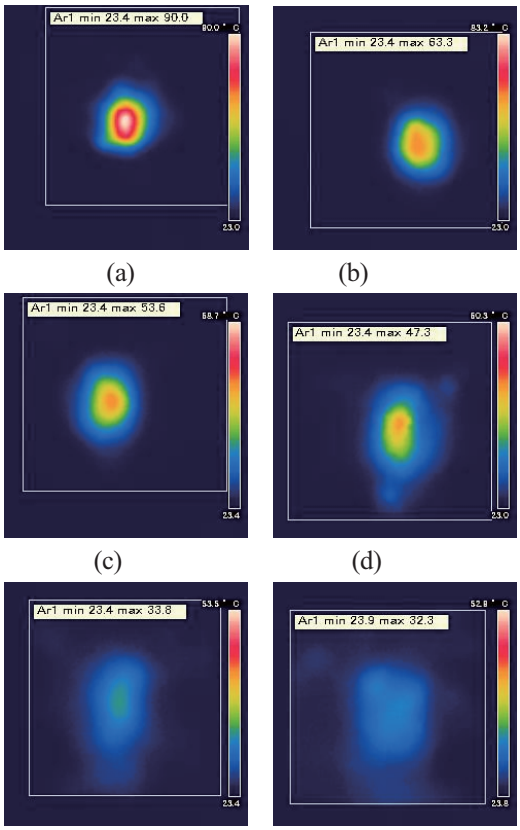


Fig.9 The experiment corresponding to Fig.7




(a) (b)

(c) (d)

(e) (f)

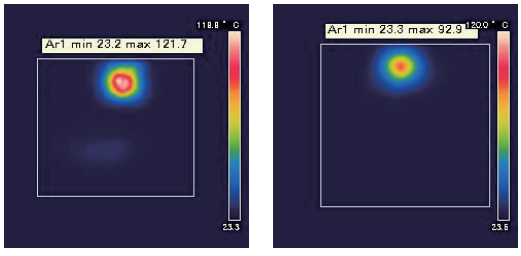
Fig.6 The temperature distribution.

(a) The front of the first sample. (b) The back of the first.
(c) The front of the second. (d) The back of the second.
(e) The front of the third. (f) The back of the third.

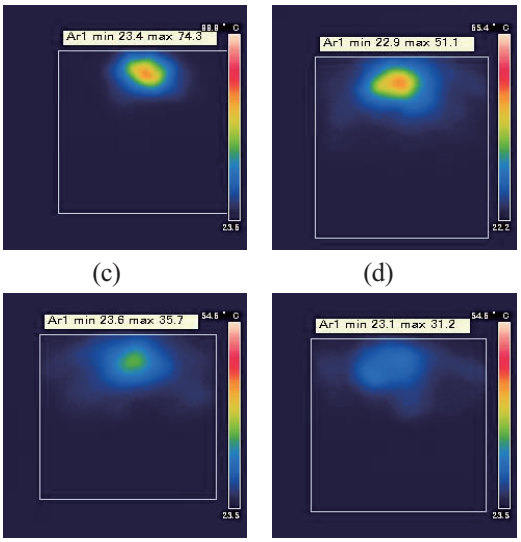
がある．また，3.2 に比べて明らかによく水平方向にマイクロ波電力が放射され，舗装表面に相当する部分に電力がよく吸収されていることがわかる．しかし，そもそも小室の高さが 72mm あるために 50mm よりも深い位置まで電力が行きわたってしまっている．

## 4 あとがき

マイクロ波によるアスファルト舗装の原位置補修が実現できる一応の見込みができた．補修工法として確立していくためには，小室の開口の高さを低くするなどして水平方向のマイクロ波の放射域を舗装表層に




(a) (b)




(c) (d)

(e) (f)

Fig.10 The temperature distribution.

(a) The front of the first sample. (b) The back of the first .
(c) The front of the second. (d) The back of the second.
(e) The front of the third. (f) The back of the third.

絞るための検討，1 台あたりのマイクロ波電源のエネルギー密度を高めるために空胴幅を狭くする検討，多数台による並列運転の際の電源間の干渉の点からの，開口から放射された後のマイクロ波の空胴断面垂直方向への広がりに関する検討などが今後の課題である．

## 文献

(1) 榎戸武揚，異方性媒質を含む開放型共振器および導波系に関する研究， 北海道大学学位論文(1971)

(2) 鈴木剛，遊塚優二，鏡愼，川口秀樹，岩間将彦，尾本志展，楕円断面空胴の端面に開口を設けた場合の電磁界解析， 電子情報通信学会技術研究報告 MW2009-51・信学技報 Vol.109, No.158,159 (2009), pp.115-120

# 水中硬化型接着樹脂を用いたAFRP版の水中接着補強工法を適用したRC梁の静載荷実験

三上　浩[*1]，岸　徳光[*2]，小室 雅人[*2]，栗橋 祐介[*2]

## 1　はじめに

1995 年に発生した阪神淡路大地震を契機に我が国の耐震補強設計法が大きく改訂された(1)。現在，道路事業においては，大地震発生時における緊急輸送道路の確保に不可欠な橋脚から優先して，上記の耐震補強設計法に準拠した補強工事が行われている。しかしながら，河川橋脚の場合には，耐震補強工事に先立って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ため，陸上での補強工事に比較して膨大なコストが必要となる。

そのため，河川橋脚に関しては，その耐震補強がほとんど実施されていないのが現状である。インドネシア周辺諸国で頻発する大地震や，我が国では首都直下型地震の発生が危惧され，また社会資本整備予算の削減も予定されていることから，河川橋脚の簡易かつ合理的な耐震補強工法の開発は喫緊の課題となっている。

近年，水中においても硬化し，十分な付着性能を発揮できる接着樹脂 (以下，水中硬化型接着樹脂) が開発され，一部で実用段階に至っている。著者らは，このことに着目し，事前にエポキシ系樹脂で含浸硬化 (FRP 化) したアラミド繊維製版 (以後，AFRP 版) を上記の水中硬化型接着樹脂を用いて接着補強する工法 (以後，水中接着補強工法) を用いた河川橋脚の耐震補強工法を考案した。この補強工法の大きなメリットは，水中での施工が可能であるため，大規模な仮締切工事が不要となり，補強工事費が大幅に削減可能であるところにある。

なお，過去の研究では，根元ら(2) により炭素繊維を格子状に成形した CFRP グリッドを水中適用型エポキシ樹脂を用いて接着する補強工法が提案されている。しかしながら，この場合には，補強材が格子状であるため耐震補強で要求される大きな補強量に対応することが困難な場合があるものと考えられる。一方，本研究における提案工法では補強材が面状であるため，積層化によって耐震補強レベルの補強量にも比較的容易に対応可能であるものと考えられる。

このような背景より，本研究では，水中硬化型接着樹脂と AFRP 版を用いた水中接着補強工法による RC 梁の曲げ補強効果を検討することを目的に，提案の水中接着補強工法で曲げ補強した RC 梁の静載荷実験を行った。

*1 客員教授・三井住友建設(株)技術開発センター
*2 くらし環境系領域

## 2　実験概要

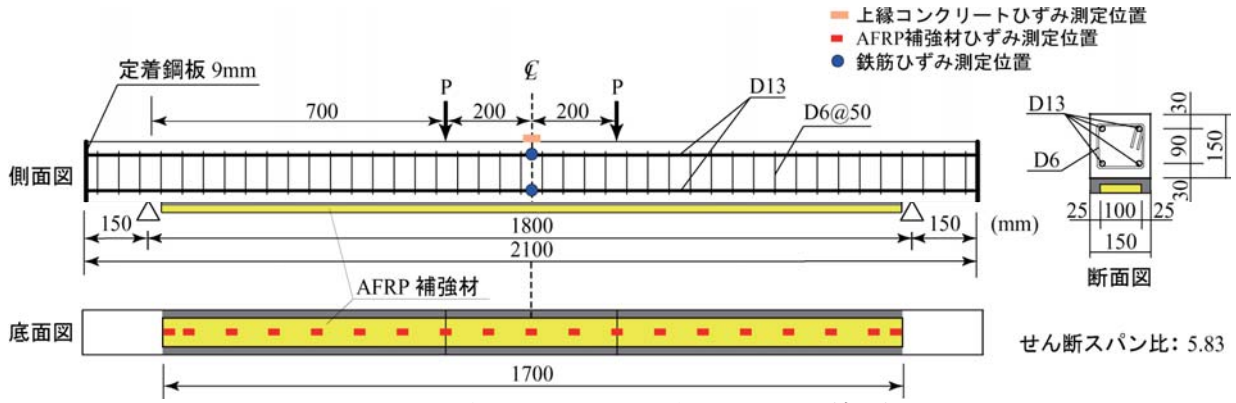
### 2．1　試験体概要

表－１には，本実験に用いた試験体の一覧を示している。試験体数は，無補強の他，AFRP 補強材の種類および施工・養生環境を変化させた全 4 体である。試験体名の内，第１項目は補強材の種類 (S: シート，P: FRP 版)，第２項目は施工環境 (A: 気中，W: 水中) を示している。

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。試験体は，断面寸法 150×

表－１　試験体一覧

| 試験体名 | 補強材の種類 | 使用樹脂の種類 | 施工・養生環境 |
|---|---|---|---|
| N | 無補強 | - | - |
| S-A | AFRP シート | 気中用接着樹脂 | 気中 |
| P-A | AFRP 版 | 気中用接着樹脂 | 気中 |
| P-W | AFRP 版 | 水中硬化型接着樹脂 | 水中 |




図－１　試験体の形状寸法，配筋状況および補強概要

表－２　AFRP 補強材の力学的特性値(公称値)

| 繊維目付量 (g/ m$^2$) | 保証耐力 (kN/m) | 厚さ (mm) | 引張強度 (GPa) | 弾性係数 (GPa) | 破断ひずみ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 415 | 588 | 0.286 | 2.06 | 118 | 1.75 |

150 mm, 純スパン長 2.1 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 588 kN/m の AFRP シートもしくは AFRP 版を接着している。なお，本研究では，AFRP シートおよび AFRP 版を総称して AFRP 補強材と呼ぶこととする。これらの AFRP 補強材の幅は 100 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。

補強試験体は，実測耐力が平面保持を仮定した断面分割法による計算耐力を上回り，上縁コンクリート圧壊後に AFRP 補強材が剥離する曲げ圧壊型となるように設計した。設計では，著者らの既往の研究[3] において提案した FRP シート曲げ補強 RC 梁の破壊形式予測式を用いた。すなわち，断面分割法により降伏曲げモーメント $M_y$ と終局曲げモーメント $M_u$ を算出し，$M_y/M_u$ が 0.7 以上となるように設計している。なお，後述する各材料の力学的特性値を用いて計算した結果，補強試験体の $M_y/M_u$ は 0.74 となっている。

実験時におけるコンクリートの圧縮強度は 26.9 MPa であり，軸方向鉄筋の降伏強度は 380 MPa であった。表－２には，AFRP 補強材の力学的特性値の一覧を示している。

## ２．２　実験方法

実験では RC 梁を単純支持状態で設置し，容量 500 kN の油圧ジャッキと鋼製の載荷治具 (載荷点間隔 400 mm) を用いてスパン中央部に載荷した。

本実験の測定項目は，荷重，載荷点変位 (以後，変位) および軸方向鉄筋ひずみであり，それぞれ，静荷重測定用ロードセル，非接触型レーザ式変位計およびひずみゲージにより測定している。これらの計測機器からの出力データは，デジタルメモリに一括収録している。また，実験時には，梁側面のひび割れ進展状況をデジタルカメラで撮影している。

## ２．３　AFRP 補強材の接着方法

AFRP 補強材の接着に先立ち，RC 梁底面におけるコンクリート表面のレイタンスをコンクリートサンダーを用いて除去した。また，AFRP 版の製作の際には，一般に用いられている気中施工用の含浸接着樹脂を用いて，所定の寸法に裁断した AFRP シートに樹脂を含浸硬化した。

気中補強の場合には，プライマー処理を施した後，上記と同種の含浸接着樹脂を用いて AFRP シートもしくは AFRP 版を接着した。

水中接着補強の場合には，大型の水槽を用い RC 梁を水没させた状態で施工を行った。RC 梁は AFRP 版接着面である底面を上側にして設置した。なお，現在のところ水中におけるプライマー処理は不可能であるため，プライマー処理は施していない。用いた水中硬化型接着樹脂は，２種混合型のエポキシ系接着樹脂であり，外観は主剤および硬化剤ともにパテ状である。表－３および表－４には，それぞれ水中硬化型接着樹脂の材料組成および性状，力学

表－３　水中硬化型接着樹脂の材料組成および性状

| | 主剤 | 硬化剤 |
|---|---|---|
| 主成分 | 変成エポキシ樹脂 | 変成ポリアミドアミン |
| 概観 | 白色パテ状 | 暗灰色パテ状 |
| 比重 | 1.85 | 1.78 |
| 配合比 | 1:1 | |
| 可使時間 | 30 分 (at.25℃) | |
| 硬化時間 | 2 時間 (at.25℃) | |

表－４　水中硬化型接着樹脂の力学的特性値

| | 物性値(MPa) | 測定値 |
|---|---|---|
| 圧縮強度 | 53.0 | JIS K-6911 |
| 曲げ強度 | 32.4 | JIS K-6911 |
| 引張強度 | 15.0 | JIS K-6911 |

的特性値の一覧を示している。水中接着補強における施工手順は以下の通りである。すなわち，

1) 水中硬化型接着樹脂の主剤および硬化剤を混合する，
2) 均一に混合された接着樹脂を厚さ 4 mm 程度でかつ RC 梁底面の補強材接着面寸法と同程度となるように成形する，
3) 水槽内に設置された RC 梁の接着面に成形後の接着樹脂を敷設しコンクリート面に圧着する，
4) AFRP 版を RC 梁底面の所定の位置に敷設し接着樹脂に圧着する，
5) 圧着した状態で 1 週間程度水中養生する，

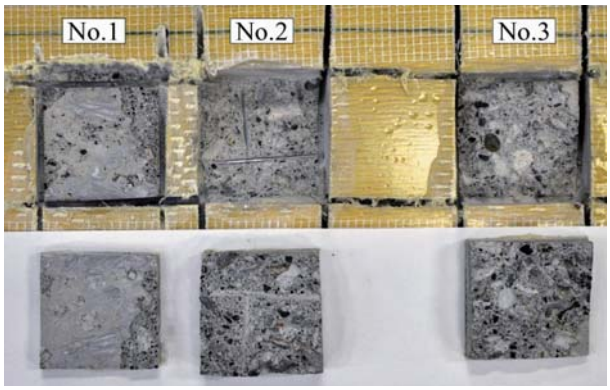
である。

### ２．４　水中工型接着樹脂の接着性能

前節の水中接着補強で使用した水中硬化型接着樹脂と AFRP 版およびコンクリート面との接着性能を確認するため，市販のコンクリート版を用いて接着試験を行った。接着試験は土木学会「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」[(4)]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）」に準拠して実施した。すなわち，

1) 予め水中に浸漬したコンクリート版に水中硬化型接着樹脂を用いて AFRP 版を接着し 1 週間程度水中養生した後，コンクリート版を気中に引き上げる，
2) AFRP 版表面に鋼製治具（接着面寸法 40×40 mm ）を接着し，接着樹脂硬化後に鋼製治具の周囲を切断する，
3) 専用の接着試験装置を用いて鋼製治具を接着面と垂直方向に引き抜く，

である。



写真－１　試験終了後における破壊面の状況

表－５　接着試験結果

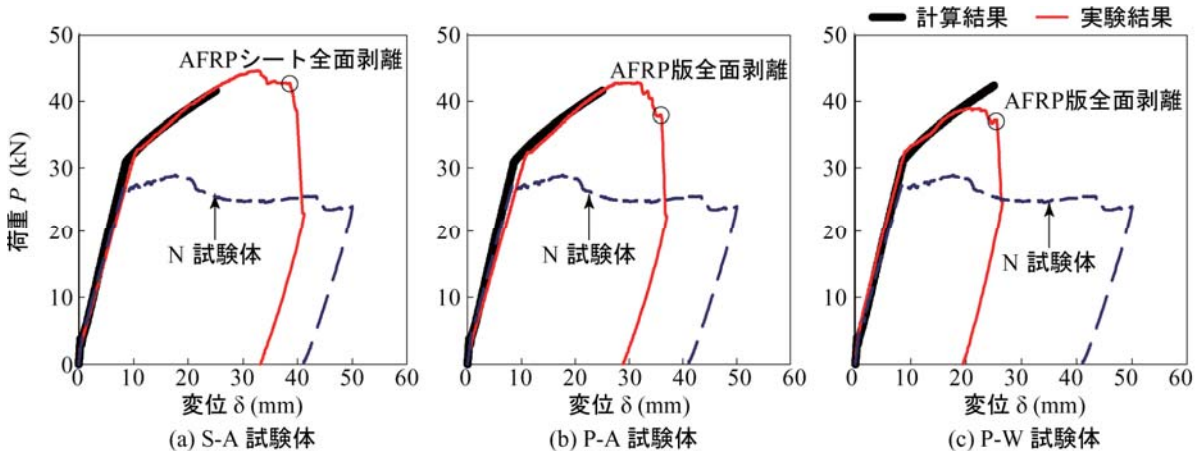
| | No.1 | No.2 | No.3 | 平均 |
|---|---|---|---|---|
| 接着強度 (MPa) | 2.0 | 3.0 | 2.8 | 2.6 |

写真－１および表－５には，接着試験後の破壊面の状況および接着強度の一覧を示している。写真－１より，No.1 においては水中接着樹脂の引張破壊が見られるものの，No.2 および No.3 においては，接着面全面に渡りコンクリートの引張破壊となっていることが分かる。表－５に示すように，接着強度の平均値は 2.6 MPa である。この値は，一般的なコンクリート (圧縮強度 $f'_c$ = 24 MPa 程度) の引張強度よりも高いことより，本実験に用いた水中硬化型接着樹脂は垂直方向の引張に対しては，十分な接着性能を有しているものと判断される。

## ３　RC 梁の静載荷実験結果

### ３．１　荷重－変位関係

図－２には，各補強試験体の実験結果を計算結果および無補強試験体の実験結果と比較して示している。なお，水中接着補強試験体は水中養生後，気中に引き上げてひずみゲージなどを貼り付けた後，同




図－２　各補強試験体の荷重―変位関係に関する実験および計算結果の比較

表－6　実験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 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 計算結果 $P_{yc}$ (kN) | 実験結果 $P_{ye}$ (kN) | 荷重比 $P_{ye}/P_{yc}$ | 計算結果 $P_{uc}$ (kN) | 実験結果 $P_{ue}$ (kN) | 荷重比 $P_{uc}/P_{ue}$ | |
| S-A | 31.3 | 32.4 | 1.04 | 42.8 | 44.7 | 1.04 | 上縁コンクリート圧壊後補強材剥離 |
| P-A | | 32.1 | 1.03 | | 42.9 | 1.00 | |
| P-W | 31.6 | 32.5 | 1.03 | 43.6 | 39.0 | 0.89 | 補強材剥離 |

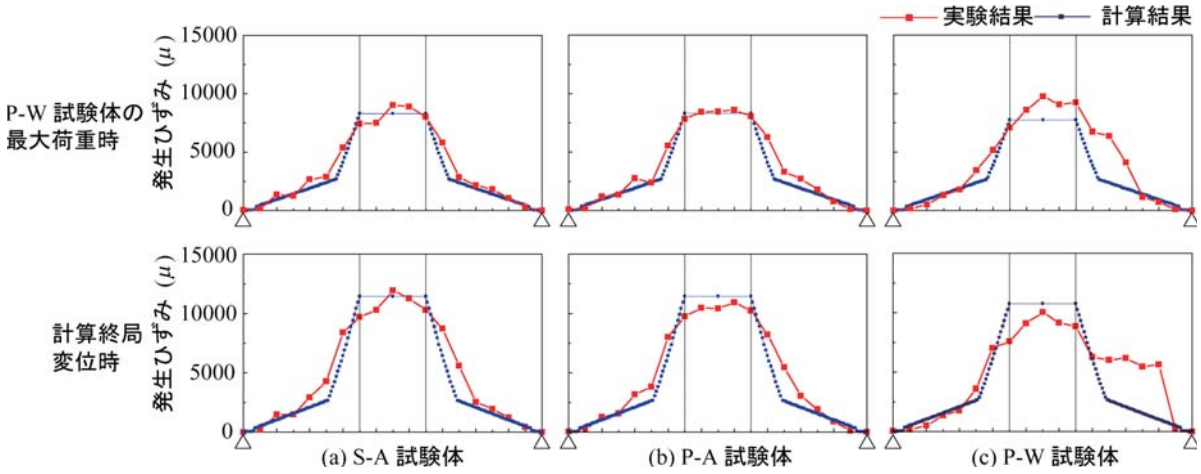
日中に実験装置にセットして載荷実験を行った。また，表－６には実験および計算結果の一覧を示している。ここで，計算結果は前述の実験時におけるコンクリートの圧縮強度，鉄筋の引張試験結果およびAFRP 補強材の公称の力学的特性を適用し，AFRP 補強材とコンクリートの完全付着を仮定した断面分割法により曲げモーメント－曲率関係を求めることによって評価している。断面分割は要素長を約 5 mm とし，変位はスパン方向の分割を一要素長 100 mm とし，線形な曲率変化を仮定して算定している。なお，P-W 試験体の場合には，水中硬化型接着樹脂の厚さが 4 mm 程度であったことより，梁の断面高さが他の試験体よりも 4 mm 大きいものと仮定して計算した。各試験体の荷重－変位曲線の計算は，上縁コンクリートが終局圧縮ひずみ $\varepsilon_{cu}$ = 3,500 $\mu$ に至った時点で終了している。

図より，いずれの試験体も AFRP 補強材を用いて曲げ補強することにより，主鉄筋降伏後も荷重が増加し，無補強試験体に比較して曲げ耐荷性能が向上していることが分かる。気中で補強した S/P-A 試験体の場合には，AFRP 補強材の種類にかかわらず実測耐力が計算耐力を上回り，上縁コンクリートが圧壊した後補強材の剥離に至っている。従って，これらの試験体の破壊形式は，前述の破壊形式予測式による結果と同様であり，曲げ圧壊型であると判断できる。

これに対し，水中で補強した P-W 試験体の場合には，実測耐力が計算耐力に到達する前に AFRP 版が剥離している。また，上縁コンクリートも圧壊には至っていない。従って，P-W 試験体の場合には，S/P-A 試験体の場合と異なり，AFRP 版の剥離が先行する剥離破壊型であると判断できる。なお，表－６に示すように P-W 試験体の最大荷重の実測値と計算値の比（荷重比）は 0.89 であった。

### ３．２　AFRP 補強材のひずみ分布性状

図－３には，各変位時における AFRP 補強材の軸方向ひずみ分布に関する実験結果を計算結果と比較して示している。なお，計算結果は前述した断面分割法の結果を基にスパン方向に 10 mm 間隔で AFRP 補強材のひずみを算出して得られたものである。なお，ここでは，P-W 試験体の最大荷重時（$P_{ue}$= 39 kN）と計算終局変位時の結果について示している。




図－３　AFRP 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

図より，気中接着した S/P-A 試験体の場合には，計算終局変位時まで実験結果が計算結果とほぼ対応していることが分かる。従って，AFRP 補強材とコンクリート面との付着は，計算終局変位時まで十分に確保されているものと考えられる。

一方，水中接着した P-W 試験体の場合には，最大荷重時において等曲げ区間および右側等せん断力区間の実験結果が計算結果を大きく上回っていることが分かる。これは，等曲げ区間において水中硬化型接着樹脂に曲げひび割れが発生・開口したことで局所的に実測ひずみが増加したためと考えられる。すなわち，前述のように水中硬化型接着樹脂の引張強度はコンクリートの引張強度の 5 倍程度以上大きいため，水中硬化型接着樹脂のひび割れ近傍における AFRP 補強材に局所的にひずみが集中したものと推察される。

また，右側等せん断力区間においては，AFRP 補強材がコンクリート面から部分的に剥離していることを示しているものと考えられる。後述のとおり，実験においては下縁かぶりコンクリート部に生じた斜めひび割れの先端部が，補強材を下方に押し出して引き剥がすピーリング作用が発生していることを確認している。この傾向は，計算終局変位時においてより顕在化しており，AFRP 補強材の剥離範囲がより支点方向に進展していることが分かる。

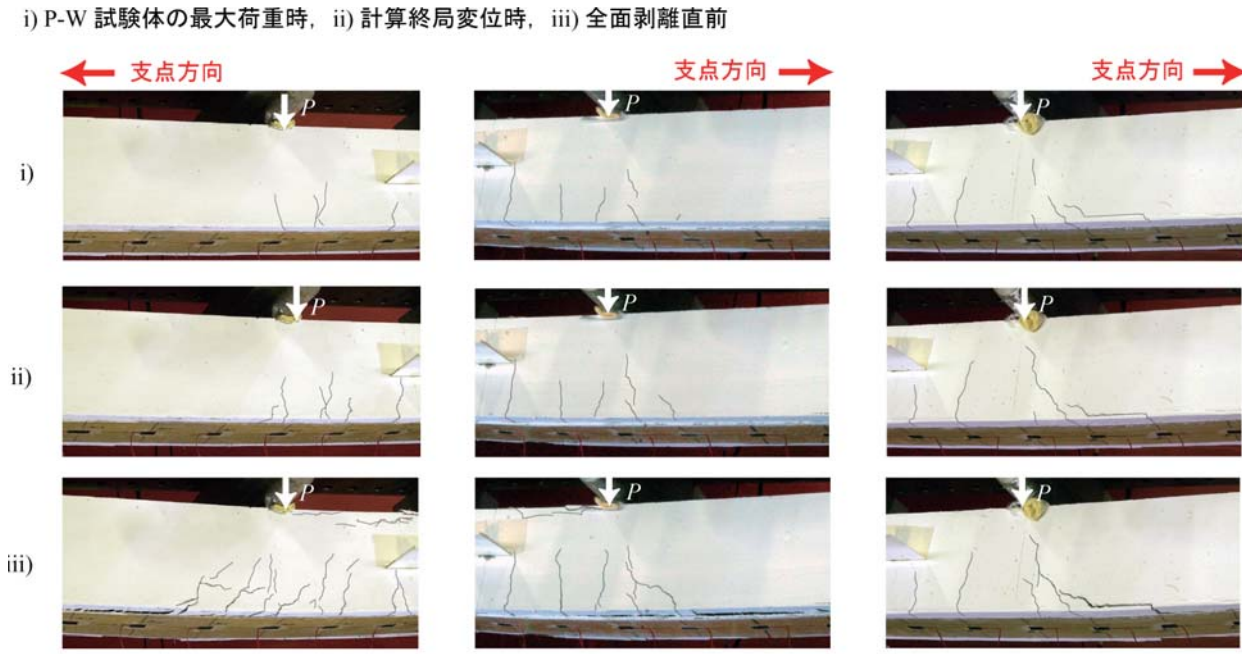
### ３．３　AFRP 補強材の剥離性状

写真－２には，実験時における梁側面のひび割れおよび AFRP 補強材の剥離性状を示している。ここでは，i) P-W 試験体の最大荷重 ($P_{ue}$ = 39kN) 時，ii) 計算終局変位時，iii) 全面剥離直前について示している。

写真より，S/P-A 試験体の場合には，等曲げ区間および載荷点近傍に曲げひび割れの発生が見られるものの，計算終局時まで AFRP 補強材の剥離の兆候は認められない。全面剥離直前においては，両試験体ともに等曲げ区間では上縁コンクリートが圧壊しており，等せん断力区間における下縁かぶりコンクリート部には斜めひび割れの先端部が AFRP 補強材を下方に押し出して引き剥がすピーリング作用により，部分剥離を生じていることが分かる。

これに対し，P-W 試験体の場合には，同試験体の最大荷重時において下縁かぶりコンクリート部に発生した斜めひび割れが開口し，斜めひび割れの先端部から支点方向に水平ひび割れが進展していることが分かる。また，水平ひび割れの先端部は，斜め下方に進展し，水中硬化型接着樹脂と AFRP 版との接着界面に進展している。これらのことは，P-W 試験体における補強材の剥離は，1) ピーリング作用によりコンクリートと水中硬化型接着樹脂との界面において発生し，2) その後水中硬化型接着樹脂と AFRP 版との界面に進展することを示している。このような AFRP 版の剥離性状は，計算終局変位時，全面剥離直前と徐々に顕在化していることが分かる。

剥離がコンクリートと水中硬化型接着樹脂との界面から進展した原因の一つとして，コンクリート表面にプライマー処理が施されていないことが考えられる。しかしながら，現状では水中におけるプライマー処理は困難である。従って，コンクリートと水




写真－２　梁側面のひび割れおよび下面における補強材の剥離性状

中硬化型接着樹脂の界面の付着性能を高めるためには，コンクリート表面の異形化等の処理を行う必要があるものと考えられる。

## 4　まとめ

本研究では，水中硬化型接着樹脂と AFRP 版を用いた水中接着補強工法による RC 梁の曲げ補強効果を検討することを目的に，水中接着補強工法で曲げ補強した 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) 水中硬化型樹脂を用いて接着した AFRP 版とコンクリートの接着強度は 2.6 MPa であり，通常のコンクリートの引張強度よりも大きい。
2) 提案の水中接着補強工法は RC 梁の曲げ耐力を向上可能であり，水中接着補強 RC 梁の荷重比(実測耐力/計算耐力) は 0.89 であった。
3) ただし，気中で補強した場合よりも小さな荷重レベルでコンクリートと水中硬化型接着樹脂の界面において剥離が生じた。これは，コンクリート表面がプライマー処理されていないことが原因の一つであると考えられる。
4) コンクリートと水中硬化型接着樹脂界面の付着性能を高めるためには，コンクリート表面に異形化等の処理を施す必要があると考えられる。

今後は，コンクリート表面処理の影響や水中硬化型接着樹脂の改良も含めてさらなる検討を実施する予定である。

## 文献

(1) 日本道路協会，道路橋協会示方書・同解説，V 耐震補強編，(2002)
(2) 根本正幸，坂本宏司，呉　智深，岩下健太郎，水中適用型エポキシ樹脂により接着した CFRP グリッドの付着性能に及ぼす補強量の影響に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.2，(2009.6)，pp.1459-1464
(3) 岸　徳光，三上　浩，栗橋祐介，AFRP シートで曲げ補強した RC 梁の曲げ耐荷性状に関する実験的研究，土木学会論文集，No.683/V-52(2001.8)，pp.47-64
(4) 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)

# 各種骨材を用いたモルタル・コンクリートの乾燥収縮特性

濱　幸雄[*1]，松下文明[*2]，柴田純夫[*2]

## 1　はじめに

コンクリートの乾燥収縮は，元来セメントペーストの収縮に起因するものであり，骨材はそれを拘束するものとして扱われてきた。一方，骨材の種類が乾燥収縮に大きな影響があることも指摘されており[(1)]、石灰岩砕石を粗骨材として用いた場合に収縮が低減されることが多いことが広く認識されている。また、天然資源骨材の枯渇から、銅スラグ、高炉スラグ等の副産物の有効利用も重要な課題となっている。これらスラグ系材料は細骨材として用いられることが多いが、スラグ系細骨材単独で乾燥収縮に及ぼす影響を検討した資料が十分にあるとは言い難い[(2),(3)]。

そこで本研究では，細骨材として JIS 標準砂，天然砂，各種砕砂，銅スラグ細骨材，高炉スラグ細骨材を，粗骨材として硬質砂岩砕石，安山岩砕石，石灰岩砕石を用い，骨材種別がモルタルおよびコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響を把握することを目的とした実験を行った。

## 2　実験計画および方法

実験は，モルタル実験とコンクリート実験に分けて行った。

モルタル実験では，混合材を含まない普通ポルトランドセメントと**表－１**に骨材のうち JIS 標準砂，天然砂，各種砕砂，銅スラグ細骨材(以下 Cu) および高炉スラグ細骨材(以下 BFS)の計 14 種類の細骨材を用いた。モルタルの調合は，標準砂を用いた水セメント比 50%の JIS モルタルの調合を基準とし，標準砂以外の場合には細骨材かさ容積が一定となるように定めた。試験体は，4×4×16 cm の角柱供試体を作製した。

コンクリート実験では，市販の普通ポルトランドセメントと**表－１**に示す骨材のうち 3 種類の粗骨材および 5 種類の細骨材を用い，**表－２**に示す骨材の組み合わせでコンクリートを作製した。コンクリートの調合は，目標スランプを 18cm とした nonAE の安山岩砕石（A）と陸砂（ｓ）の組み合わせの調合を基本とし、すべての骨材の組み合わせで同一単位水量としたものを調合 A，全ての組み合わせで同一スランプが得られるように調合を補正した調合 B の二つの条件のコンクリートを作製した。コンクリートの調合表と練り上がり性状を**表－３**に示す。試験体は，10×10×40 cm の角柱供試体を作製した。

なお，モルタル実験，コンクリート実験のいずれにおいても，材齢 7 日まで 20℃水中養生を行った後，20℃・60% RH の恒温恒湿環境下での乾燥収縮量と質量変化率を測定した。長さ変化の測定は，JIS A 1129-3(ダイヤルゲージ法)に準拠した。また，材齢 7 日と 28 日に圧縮強度と静弾性係数の測定を行った。

## 3　結果および考察

### 3.1　モルタル実験

図－１にモルタルの乾燥収縮試験結果を示す。なお，図－１の（1）～（3）はそれぞれ S，K，F，U（天然砂，各種砕砂系），Cu，Cu2.5，Cu1.2，BFS，

*1 くらし環境系領域
*2 客員教授・住友金属鉱山シポレックス(株)

表－１　骨材種類及び各種物性値

| | 細骨材種別 | | 記号 | 表乾密度 (g/cm$^3$) | 絶乾密度 (g/cm$^3$) | 吸水率 (%) | 粗粒率 (%) | 微粒分率 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 細骨材 | ＪＩＳ標準砂 | | N | 2.65 | 2.64 | 0.42 | 2.66 | 0.30 |
| | 天然砂系 | 陸砂 | S | 2.69 | 2.65 | 1.52 | 2.60 | 0.43 |
| | | 海砂 | U | 2.59 | 2.56 | 1.23 | 2.91 | 3.73 |
| | スラグ系 | 銅スラグ系 | Cu | 3.52 | 3.50 | 0.58 | 3.44 | 0.32 |
| | | | Cu2.5 | 3.52 | 3.50 | 0.58 | 2.49 | 1.81 |
| | | | cu | 3.51 | 3.49 | 0.51 | 2.59 | 3.50 |
| | | | Cu1.2 | 3.52 | 3.50 | 0.58 | 2.28 | 2.82 |
| | | | CuL※ | 3.10 | 3.09 | 0.50 | 2.62 | 3.27 |
| | | 高炉スラグ | BFS | 2.74 | 2.72 | 0.74 | 2.53 | 1.80 |
| | | | b | 2.81 | 2.80 | 0.53 | 2.55 | 3.00 |
| | 砕砂系 | 石灰砕砂 | LTA | 2.68 | 2.67 | 0.41 | 2.75 | 4.73 |
| | | | l | 2.65 | 2.61 | 1.38 | 6.5 | 6.50 |
| | | | LTB | 2.71 | 2.70 | 0.39 | 3.08 | 12.08 |
| | | | LK | 2.69 | 2.68 | 0.49 | 2.31 | 3.80 |
| | | | LG | 2.67 | 2.64 | 0.87 | 3.37 | 8.51 |
| | | 硬質砂岩砕砂 | K | 2.61 | 2.58 | 1.03 | 3.53 | 5.77 |
| | | | k | 2.59 | 2.54 | 1.65 | 4.5 | 4.50 |
| | | 風化花崗岩砕砂 | F | 2.59 | 2.57 | 0.81 | 2.85 | 6.10 |
| 粗骨材 | 安山岩砕石 | | A | 2.67 | 2.62 | 1.83 | 6.64 | - |
| | 石灰岩砕石 | | L | 2.70 | 2.69 | 0.38 | 6.66 | 0.60 |
| | 硬質砂岩 | | H | 2.62 | 2.59 | 1.18 | 6.74 | - |

注）細骨材の記号で，大文字はモルタル実験で，小文字はコンクリート実験で使用した骨材である。

*）CuL は，Cu2.5（銅スラグ）と LTA（石灰砕砂）の１：１混合砂である。

表－２　骨材組み合わせ(コンクリート)

| 粗骨材 | 細骨材 | 記号 |
|---|---|---|
| 安山岩砕石 | 陸砂 | As |
| 石灰岩砕石 | | Ls |
| 硬質砂岩 | | Hs |
| 安山岩砕石 | 硬質砂岩＋銅スラグ30% | Acuk |
| | 硬質砂岩＋高炉スラグ30% | Abk |
| | 石灰岩砕砂 | Al |
| | 硬質砂岩 | Ak |

表－３　コンクリートの調合と練り上がり性状

| 記号 | W/C (%) | s/a (%) | 単位質量(kg/m$^3$) | | | | Sl(cm) | Air(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | W | C | S | G | | |
| As-A | 50 | 46.0 | 185 | 370 | 850 | 993 | 17.5 | 3.0 |
| Ls-A | | | | | 850 | 1005 | 18.0 | 2.9 |
| Hs-A | | | | | 850 | 978 | 19.0 | 2.3 |
| Acuk-A | | | | | k573 cu334 | 993 | 3.5 | 3.2 |
| Abk-A | | | | | k573 b267 | 993 | 3.5 | 3.3 |
| Al-A | | | | | 838 | 993 | 3.0 | 4.4 |
| Ak-A | | | | | 819 | 993 | 3.5 | 2.8 |
| Acuk-B | 50 | 40.3 | 225 | 450 | k456 cu263 | 993 | 19.0 | 1.6 |
| Abk-B | | | | | k456 b211 | 993 | 18.0 | 1.8 |
| Al-B | | | | | 665 | 993 | 19.5 | 2.3 |
| Ak-B | | | | | 650 | 993 | 17.5 | 1.5 |

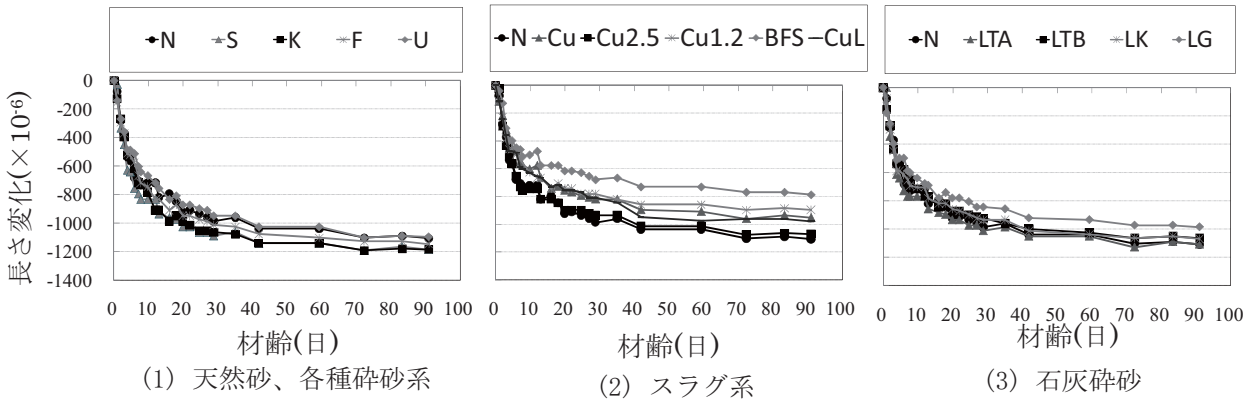
CuL（スラグ系），LTA，LTB，LK，LG（石灰砕砂系）の結果を N（標準砂）と比較して示している。

細骨材種類以外の条件を同一とした本実験によるモルタルの乾燥収縮量の違いは，骨材物性の相違によるものと考えることができ，骨材の種類によってモルタルの収縮量は乾燥開始材齢 91 日において約 800～1200×10$^{-6}$ の範囲で大きく異なっている。

天然砂，各種砕砂系は，N と比べてやや収縮量が大きい傾向を示している。また，石灰砕砂系は産地によるばらつきもみられるが，Nとほぼ同等の収縮量となっている。一方，スラグ系の収縮量は全体的に小さい傾向にあり，特に高炉スラグ細骨材 BFS の収縮量の小ささが際立っている。図－２に長さ変化と質量変化率の関係を示す。質量変化率は，乾燥による水分逸散を意味しているが，水分逸散量と長さ変化の関係は一様ではない。しかしながら，その中で N と S，Cu2.5，LTB，LK がほぼ同じ挙動をしているのは興味深い。

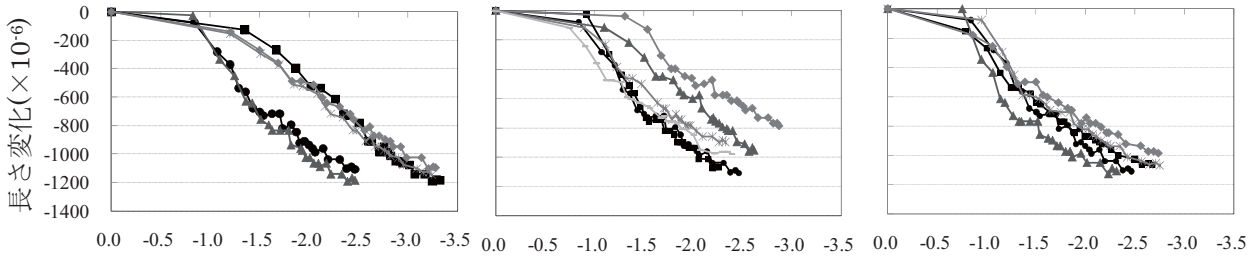
### 3.2　コンクリート実験

図－３にコンクリートの乾燥収縮試験結果（乾燥材齢 28 日まで）を示す。**図－３**(1)は，粗骨材を安山岩砕石（A）共通として，細骨材の組み合わせを変化させ，骨材の組み合わせによらず単位水量を一定とした場合（A調合）の結果であり，細骨材種別




(1) 天然砂、各種砕砂系　(2) スラグ系　(3) 石灰砕砂

**図－１　モルタルの乾燥収縮試験結果**




(1)　天然砂、各種砕砂系　(2) スラグ系　(3) 石灰砕砂

図－２　モルタルの長さ変化と質量変化の関係

の影響を示すものである。コンクリートの場合には，モルタル実験で見られたほどの細骨材による収縮量の違いは認められない。

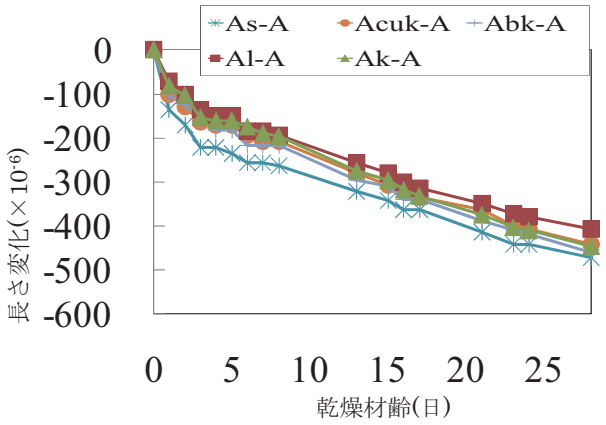
一方，図－３(2)は，細骨材を陸砂（ｓ）共通として，粗骨材の組み合わせを変化させ，骨材の組み合わせによらず単位水量を一定とした場合（Ａ調合）の結果であり，粗骨材種別の影響を示すものである。粗骨材種別による収縮量の差は，細骨材種別による差よりも比較的大きいことが見て取れる。

銅スラグ，高炉スラグ，石灰砕砂，硬質砂岩砕砂を細骨材に用いたコンクリートでは，単位水量 185kg/m$^3$ のＡ調合でのスランプは 3cm 程度であり，スランプ 18cm に調整したＢ調合では単位水量が 225 kg/m$^3$ と 40 kg/m$^3$ も増加した。図－３(3)は，これらのコンクリートのＡ調合とＢ調合の結果を比較したもので，単位水量の影響を示すものである。骨材の組み合わせによらず，単位水量の大きなＢ調合の方がＡ調合よりも収縮量が大きい傾向が見られた。特に，石灰砕砂（１）の場合の差が大きくなっている。

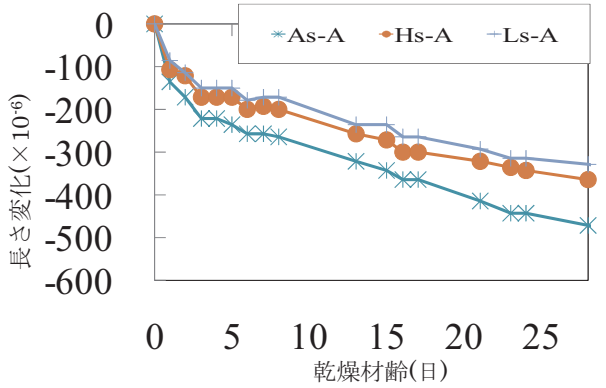
### 3.3　モルタルとコンクリートの比較

本研究で使用している骨材は，モルタル実験とコンクリート実験で産地は同じであるが同一ロットのものではない。しかし，ほぼ類似の物性値であることから，モルタル実験とコンクリート実験の結果を比較して示したのが図－４である。モルタルとコンクリートの結果には相関関係は認められず，モルタルでは細骨材種別により収縮量に大きく差があっても，組み合わせる粗骨材が同じであれば，コンクリートの収縮量にはほとんど差が見られない。それに対して，コンクリートの場合には，細骨材が同じであっても，粗骨材種別によって収縮量に大きな差が認められる。

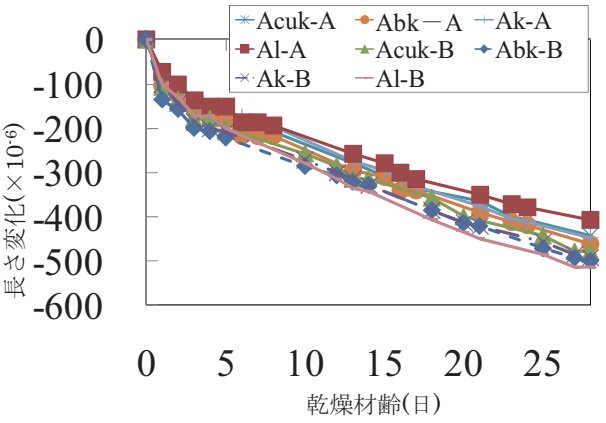
今後は，骨材種別が乾燥収縮に及ぼす影響を骨材の比表面積により評価する[3)]必要があると考えている。




(1)　細骨材種別の影響




(2)　粗骨材種別の影響

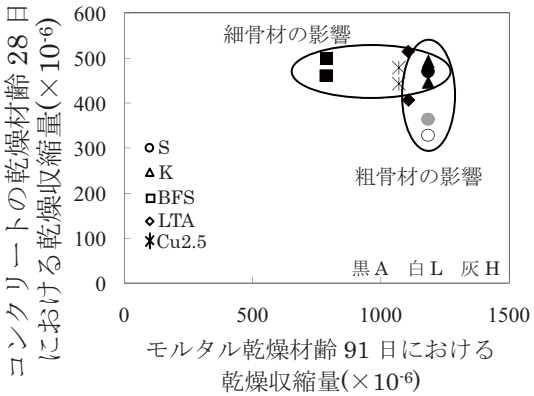



(3)　単位水量の影響

図－３　コンクリートの乾燥収縮試験結果

## 4　まとめ

本研究では、各種骨材を用いたモルタルとコンクリートの乾燥収縮特性について，以下のことが明らかになった。




図－４　モルタルとコンクリートの乾燥収縮量の関係

1) モルタルの乾燥収縮量は，細骨材種類によって大きく異なる。

2) コンクリートの場合には，モルタル実験で見られたほどの細骨材による乾燥収縮量の違いは認められなかった。

3) モルタルとコンクリートの乾燥収縮挙動には相関関係は認められず，粗骨材が同じであれば細骨材種別によるコンクリートの収縮量の差はほとんど見られない。それに対して，細骨材が同じであっても，粗骨材種別によってコンクリートの収縮量は大きく異なる。

## 文献

(1)　田中博一ほか，骨材の種類がコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，vol.31，No.1(2009)，pp.553-558

(2)　権 寧世ほか，銅スラグのコンクリート用細骨材への利用，日本建築学会大会学術講演梗概集，(1996.9)，pp.443-444

(3)　今本啓一ほか，各種骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮特性と骨材比表面積の影響，日本建築学会構造系論文集，第 606 号，(2006.8)，pp.9-14

【平成 21 年度 プレ共同研究成果】

# バイオエタノールロケットエンジンの材料適合性に関する実験的研究

棚次 亘弘[*1]， 東野 和幸[*1]， 湊 亮二郎[*1]， 中田 大将[*1]， 木元 健一[*2]

## 1 緒言

昨今，化石燃料の燃焼から排出される炭酸ガスによる地球温暖化の危惧が増し，ロケットにも環境適合性を考慮する必要性が生じている．また，液体水素（$LH_2$）を燃料とする従来のロケットは高性能であるが高コストであり，また極低温流体のため運用性に劣る．これらの状況を考慮すると，次世代宇宙輸送機に求められる重要要素として環境適合性，低コスト，運用性が挙げられる．

このような背景のもと，次世代宇宙輸送機用燃料としてバイオ燃料であるバイオエタノールが注目されている．バイオエタノールはカーボンニュートラルであるため環境適合性を有している．また，バイオエタノールは自動車用燃料として実証試験が実施中であり低コスト生産の基盤が構築されつつある．更に，常温であるため運用性に優れるだけでなく貯蔵性，安全性にも優れる．

しかし，一般的にエタノールはアルミニウムに対する腐食作用を有することが知られ(1)，バイオエタノールによるロケットエンジン材料の腐食の有無を評価する必要がある．そこで，本研究ではバイオエタノールとロケットシステムに使用が想定される材料との適合性評価を目的として，高圧・高温試験，大気圧・常温試験を実施した．高圧・高温試験ではバイオエタノールに各種金属材料及びシール材料等を浸透させ，実機を想定した温度・圧力環境を与え適合性を評価した．また，大気圧・常温試験では，各種材料を一定時間バイオエタノールに浸透させ適合性を評価した．本稿では，高圧・高温試験並びに大気圧・常温試験により取得したバイオエタノールへの材料適合性について述べる．

*1 もの創造系領域

*2 ㈱IHI

## 2 試験及び分析

### 2-1 試験装置及び試験方法

本研究で使用した試験装置の概要を図 1 に示す．本試験では，バイオエタノールと試験片を設置したオートクレーブに窒素ガスを送り，加圧した後加熱する．設定温度まで加熱した後，高圧・高温試験を実施した．また，大気圧・常温試験は各種材料を瓶に入れた状態にて実験室に保管し，長時間バイオエタノールに浸透させ実施した．

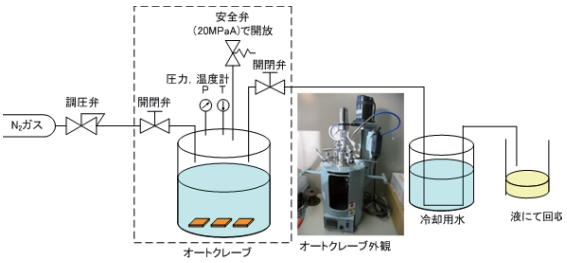



図 1 試験装置概要

### 2-2 供試材料

本研究で供した金属材料は銅系金属（Zr，Cr を添加した銅合金 OMC，無酸素銅 OFHC），Ni 系金属（純 Ni，Inconel600(AMS5540)），鉄系金属（Hastelloy-X(AMS5536), A286, SUS304, SUS316），Ti，アルミニウム合金（A6061），非金属材料は PEEK（ポリエーテル・エーテル・ケトン樹脂），PTFE（四フッ化エチレン樹脂），EPR（エチレンプロピレンゴム），CFRP である．各材料の主成分を表 1 に示す．

### 2-3 試験条件

本試験条件を表 2 に示す．試験では亜臨界領域並びに超臨界領域の材料適合性を評価するため，試験温度，圧力はバイオエタノールの臨界条件（臨

表 1　試験材料主成分一覧

| 試験片素材 | 組成(%) |
|---|---|
| OMC | Cu 99.22, Zr 0.07, Cr 0.65 |
| OFHC | Cu 99.99 |
| Ni | Ni 99.712, Si 0.03, Mn 0.2, Cu 0.02, Fe 0.01 |
| Hastelloy-X (AMS5536) | Ni 47.16, Cr 21.78, Fe 19.36 |
| Inconel600 (AMS5540) | Ni 73.58, Cr 16.71, Fe 9.16 |
| A286 | Ni 25, Cr 15, Fe 54.9 |
| SUS304 | Ni 8.07, Cr 18.19, Mn 1.02, Fe 72 |
| SUS316 | Fe 68.48, Cr 16.52, Ni 10.15 |
| Ti | Fe0.052, Ti 99.86 |
| AL(A6061) | Cu (0.26), Mg(0.96), Cr(0.25), Fe 0.38, Al 97.5 |
| PEEK | ポリエーテル・エーテル・ケトン樹脂 |
| PTFE | 四フッ化エチレン樹脂 |
| EPR | エチレンプロピレンゴム |
| CFRP | 繊維：カーボン<br>積層構成：UD/90度1ply，UD90度1ply<br>マトリックス物性：エポキシ樹脂 |

表 2　試験条件一覧

| | |
|---|---|
| 試験温度（K） | 約 273(大気温)，400，500，<br>512，523 |
| 圧力（MPaA） | 約 0.1，約 5，約 10 |
| 試験時間 | 約 2(hour)（等温試験）<br>約 36(日)（常温試験） |
| 試験片形状(mm) | 長さ 10×幅 10 厚さ 1 |
| バイオエタノール投入量(mℓ) | 20 |

界温度 516K，臨界圧力約 6.2MPaA）に準じて設定した．なお，試験片は表面に付着している油分やゴミを取り除くため，試験前に工業用エタノール（純度 99.5%）にて洗浄を施している．

### 2-4　評価方法

本試験において，バイオエタノールへの材料適合性は，表 3 に示す分析を実施し，試験片表面の様子及び表面元素の変化，試験前後の質量変化，表面粗さの変化より評価した．

表 3　分析内容一覧

| 分析方法 | 分析項目 |
|---|---|
| 外観観察 | 写真により試験片外観を観察 |
| 質量変化測定 | 試験前後で試験片の質量変化を調査（測定精度 0.1mg） |
| EPMA 分析 | 試験片表面の元素の変化を確認 |
| 表面粗さ測定 | エタノールの腐食により，影響が及ぼされた厚みを測定 |

## 3　高圧・高温試験における材料適合性評価

### 3-1　金属材料への適合性評価

金属材料に対する材料適合性評価結果一覧を表 4 に示す．同表は各金属で最も現象が顕著に現れた試験条件（表 5 参照）における結果である．同表より，銅系金属である OMC や OFHC とアルミニウム合金である A6061 以外の金属材料はバイオエタノールによる腐食作用が確認されておらず，バイオエタノールへの適合性を有することが確認された．一方，銅系金属（OMC や OFHC），アルミニウム合金（A6061）ではバイオエタノール中の硫黄成分の付着やバイオエタノールによる腐食作用が確認された．

以降では，銅系金属及びアルミニウム合金に対するバイオエタノールの影響について述べる．

表 4　金属材料の適合性評価結果

| 金属名 | 外観観察 | 質量変化測定 | EPMA分析 | 表面粗さ測定 | 適合性 |
|---|---|---|---|---|---|
| OMC | 若干の変色あり | 変化なし | 硫黄が検出 | 変化なし | △ |
| OFHC | 若干の変色あり | 変化なし | 硫黄が検出 | 変化なし | △ |
| Ni | 変化なし | 変化なし | 変化なし | 変化なし | ○ |
| Hastelloy-X (AMS5536) | 変化なし | 変化なし | 変化なし | 変化なし | ○ |
| Inconel600 (AMS5540) | 変化なし | 変化なし | 変化なし | 変化なし | ○ |
| A286 | 変化なし | 変化なし | 変化なし | 変化なし | ○ |
| SUS304 | 変化なし | 変化なし | 変化なし | 変化なし | ○ |
| SUS316 | 変化なし | 変化なし | 変化なし | 変化なし | ○ |
| Ti | 変化なし | 変化なし | 変化なし | 変化なし | ○ |
| AL(A6061) | 全て溶解 | 実施不可能 | | | × |

○：バイオエタノールによる腐食は確認されず
×：バイオエタノールによる腐食作用の確認（アルミニウムの溶解）
△：バイオエタノール中硫黄成分の吸着を確認（サルファアタックの可能性あり）

表 5　金属材料の試験条件

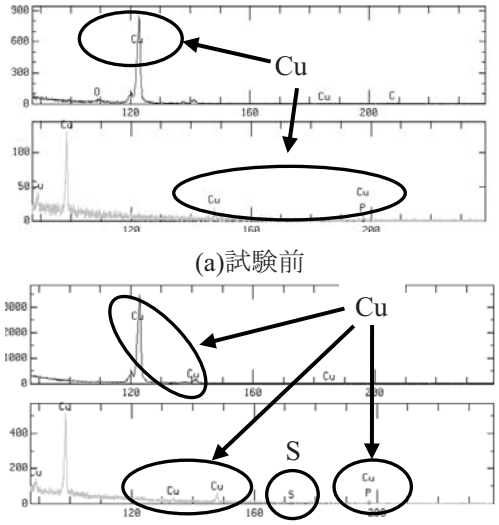
| 試験片金属 | 試験圧力(MPaG) | 試験温度(K) | 試験時間(hour) |
|---|---|---|---|
| OMC | 10 | 500 | 2 |
| OFHC | 10.8 | 500 | |
| Ni | 10.2 | 500 | |
| Hastelloy-X (AMS5536) | 5.8 | 523 | |
| Inconel600 (AMS5540) | 10 | 500 | |
| A286 | 9.9 | 400 | |
| SUS304 | 9.5 | 400 | |
| SUS316 | 10.8 | 400 | |
| Ti | 11 | 400 | |
| AL(A6061) | 11.9 | 400 | |

### 3-1-1　銅系金属への影響

本試験において，銅系金属である OMC，OFHC 試験片は EPMA 分析により試験後に硫黄成分の付着が確認された．その一例として，OMC 試験前後の EPMA 分析結果を図 2 に示す．同図より，試験

前には未検出の硫黄成分が試験後には検出されていることが確認できる．検出された硫黄成分は本研究で用いたバイオエタノール原料である米粒のアミノ酸及びビタミン等に含まれる有機硫黄化合物によるものと推測され，バイオマス原料を利用する限り最終製品にも微量に含有すると考えられる．

以上の結果より，銅系金属はバイオエタノール中の硫黄成分による腐食作用（サルファアタック）が生じる可能性が示唆された．




(a)試験前

(b)試験後

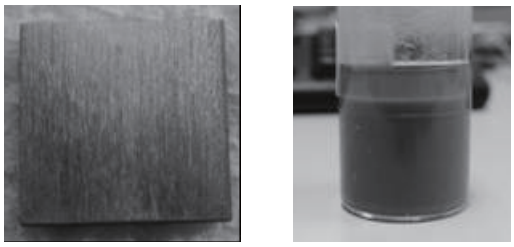
図 2　OMC 試験前後の EPMA 分析結果

### 3-1-2　アルミニウム合金(A6061)への影響

本試験では，A6061 はバイオエタノールの腐食反応により完全に溶解した（図 3 参照）．これはアルミニウムとエタノールの化学反応が進行し，アルミニウムエトキシド（$Al(OC_2H_5)_3$）が生成され，これがエタノールに溶解したためである．この反応は一般的にアルコキシド反応と呼ばれ，式は式(1)となる[2]．

$$2Al+6C_2H_5OH \rightarrow 2Al(OC_2H_5)_3+3H_2 \qquad (1)$$

ここで，アルコキシド反応はアルコール中の O と金属により生じる反応であり，酸化物になりやすい傾向を有する金属ほど起こりやすい．本研究で供した代表金属の金属酸化物生成自由エネルギーを表 6 に示す．表中-ΔG の値が大きいほど，反応は自発的に進行しやすい傾向を有することとなる．同表より，本研究で反応した A6061 の主成分であるアルミニウムは金属の中でも特に酸化物になりやすい傾向を有しており，アルコキシド反応が最も進行したと考えられる．



(a)試験前　　(b)試験後

図 3　A6061 外観観察結果

表 6　各金属酸化物生成のための自由エネルギー

| | Cu | Ni | Fe | Al | Ti |
|---|---|---|---|---|---|
| 酸化物生成のための<br>ギブスの自由エネルギー<br>－ΔG (kJ/mol) | 130 | 212 | 742 | 1582 | 889 |

### 3-1-3　過去の腐食試験との比較

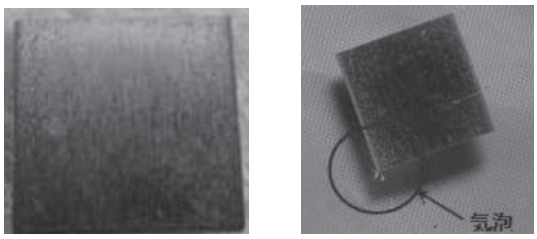
本試験と同様の結果は過去に JAXA 角田にて実施されているエタノール腐食試験[3]においても確認されている．しかし，本試験では表 7 に示すようにエタノール腐食試験と比較して短時間で腐食反応が進行した．この原因として，圧力の影響が考えられる．式(1)からわかるように，アルコキシド反応ではエタノールの反応次数が 6 と大きく，強い圧力依存性を持つことが示されている．本試験の結果はこの圧力依存性の傾向を示したものと考えられる．

表 7　腐食試験条件の比較

| | 本試験 | 圧力1.5MPaG試験[3] |
|---|---|---|
| 試験温度(K) | 400 | 410 |
| 試験圧力(MPaG) | 11.9 | 1.5 |
| 試験時間(h) | 2 | 5 |
| 試験結果概要 | 完全に溶解（エタノール液に溶解） | エタノールによる侵食を確認 |

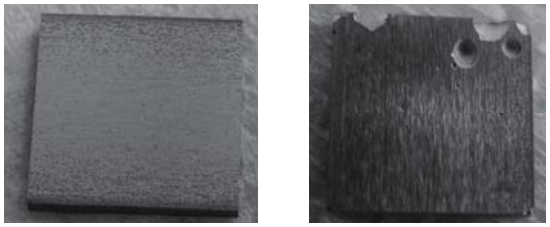
### 3-1-4　A6061 腐食への温度・圧力の影響比較

高圧・高温試験の結果，A6061 はアルコキシド反応の進行により完全に溶解した．ここでは，アルコキシド反応に対する温度と圧力の影響を評価するため，高圧常温試験，低圧加熱試験を実施し A6061 の溶解進行を確認した．各試験における外観観察結果を図 4 に示す．同図より，低圧高温試験では A6061 の溶解が確認された．一方，高圧常温試験では A6061 とバイオエタノールの反応に伴う気泡が確認されたが，A6061 の溶解は確認されていない．以上のことより，アルコキシド反応は温度依存性が圧力依存性と比較して強いことが判明した．



試験前　　試験後

(a)高圧常温試験(10MPaG，約 273K，120min)



試験前　　試験後

(b)低圧高温試験(1MPaG，約 373K，10min)

図 4　A6061 溶解に対する温度・圧力の影響比較

### 3-2　非金属材料への適合性評価

非金属材料に対する材料適合性評価結果一覧を表 8 に示す．同表は各材料で最も現象が顕著に現れた試験条件（表 9 参照）における結果である．同表より，非金属材料は全てバイオエタノールの浸透による質量増加が確認された．しかし，CFRP 以外の非金属材料はバイオエタノールによる腐食作用が確認されておらず，バイオエタノールへの適合性を有することが確認された．一方 CFRP はマトリックスであるエポキシ樹脂の溶解による炭素繊維の崩れや剥がれが確認された．

以降では，CFRP に対するバイオエタノールの影響について述べる．

表 8　非金属材料の適合性評価結果

| 材料名 | 外観観察 | 質量変化測定 | EPMA分析 | 表面粗さ測定 | 適合性 |
|---|---|---|---|---|---|
| PEEK | 変化なし | 0.03(g)の増加<br>試験前質量1.3966g | 変化なし | 変化なし | ○ |
| PTFE | 変化なし | 最大0.002(g)の増加<br>試験前質量0.1889g | 実施不可能 | 変化なし | ○ |
| EPR | 変化なし | 0.006(g)の増加<br>試験前質量0.1379g | 変化なし | 変化なし | ○ |
| CFRP | 繊維が崩れる | 最大0.025(g)の増加<br>試験前質量0.1974g | 炭素繊維の剥き出しによる炭素の検出量増大 | 最大約6.9<br>μmRa増加 | × |

○：バイオエタノールによる腐食は確認されず

×：バイオエタノールによる腐食作用の確認（エポキシ樹脂の溶解による繊維の崩れ）

表 9　非金属材料の試験条件

| 試験片金属 | 試験圧力(MPaG) | 試験温度(K) | 試験時間(hour) |
|---|---|---|---|
| PEEK | 11.3 | 400 | 2 |
| 四フッ化エチレン樹脂PTFE | 12 | 400 | |
| EPR | 11 | 400 | |
| CFRP（エポキシ樹脂） | 12 | 523 | |

#### 3-2-1　CFRP への影響

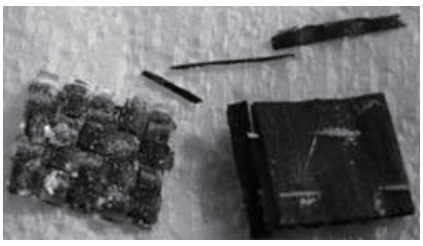
本試験では，CFRP はバイオエタノールによりマトリックスであるエポキシ樹脂が溶解し，炭素繊維がバラバラになることが確認された．この一例として，試験前後の CFRP の外観観察結果を図 5 に示す．同図より，試験後の CFRP はエポキシ樹脂の溶解による炭素繊維の剥がれや，エポキシ樹脂が白く変色し浮き出ている様子が確認できる．この現象は過去に実施されている CFRP のリサイクル研究でも確認されている現象である[4],[5]．

エポキシ樹脂の溶解の原因として，エポキシ樹脂のエポキシ基が 3 員環の開環を伴い容易にアルコールと反応する性質を有することが挙げられる[6]．これはエタノール，エポキシ樹脂双方に O 成分を有するため親和性があり，エタノール中の OH 基とエポキシ樹脂中の O が相互作用し，徐々にエポキシ分子構造が崩壊すると考えられる．この反応が進行することでエポキシ樹脂が溶け，炭素繊維に崩れや剥がれが生じたと考えられる．また，本研究で供した PTFE，PEEK，EPR は O 成分が含有されておらず，エタノールとの相互作用がなく，エタノールと反応しないと考えられる．



表面　　裏面

(a)試験前



(b)試験後

図 5　CFRP 外観観察結果

#### 3-2-2　CFRP 腐食への温度・圧力の影響比較

高圧・高温試験の結果，CFRP はエポキシ樹脂の溶解により炭素繊維に崩れや剥がれが生じた．ここでは，エポキシ樹脂の溶解に対する圧力や温度の影響評価のため，CFRP を供した各試験の質量変化を図 6 に示す．同図より，CFRP の質量変化は高温，高圧環境において増大していることが

判明した．これより，エポキシ樹脂の溶解は温度依存性，圧力依存性が存在することが判明した．

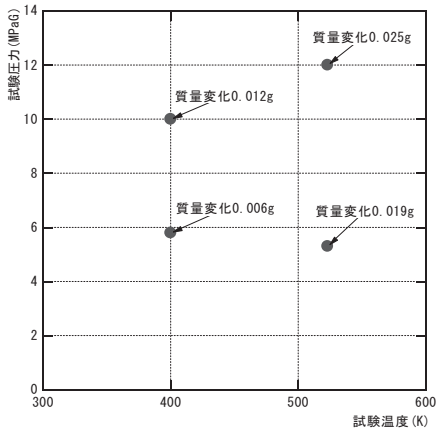



図 6　各試験条件における CFRP の質量変化

## 4 大気圧常温試験における材料適合性評価

大気圧・常温試験における材料適合性評価結果一覧を表 10 に示す．同図より，大気圧・常温試験では金属材料に変化は見られなかった．一方非金属材料では，PTFE に質量増加，CFRP にエポキシ樹脂の一部変色，及び質量増加が確認された．質量増加はバイオエタノールの浸透，エポキシ樹脂の変色はエポキシの溶解が原因と考えられる．以上より大気圧・常温環境では，バイオエタノールによる材料への腐食は CFRP を除き，本試験範囲では進行しないことが確認された．また，CFRP のエポキシ樹脂の変色もごく一部であり，バイオエタノールによる腐食作用の進行は高圧・高温試験と比較して遅いことが判明した．

表 10　大気圧・常温試験結果一覧（36 日間）

| 試験片金属 | 外観観察 | 質量変化測定 |
|---|---|---|
| OMC | 変化なし | 変化なし |
| OFHC | 変化なし | 変化なし |
| Ni | 変化なし | 変化なし |
| Hastelloy-X (AMS5536) | 変化なし | 変化なし |
| Inconel600 (AMS5540) | 変化なし | 変化なし |
| A286 | 変化なし | 変化なし |
| SUS304 | 変化なし | 変化なし |
| SUS316 | 変化なし | 変化なし |
| Ti | 変化なし | 変化なし |
| AL(A6061) | 変化なし | 変化なし |
| PEEK | 変化なし | 変化なし |
| PTFE | 変化なし | 0.003(g)の増加 |
| EPR | 変化なし | 変化なし |
| CFRP | エポキシ樹脂が一部変色 | 0.014(g)の増加 |

## 5 結言

本研究では，次世代宇宙輸送機用燃料であるバイオエタノールとエンジン材料候補との適合性を評価するため，高圧・高温試験並びに大気圧・常温試験を実施した．本研究により得られた知見は以下のようにまとめられる．

・金属材料の適合性評価結果

(1) Inconel600(AMS5540)，Hastelloy-X(AMS5536)，A286，Ni，Ti，SUS304，SUS316 は圧力約 10MPaG, 温度 400～500K の条件でバイオエタノールによる腐食作用が確認されていない．

(2) A6061 は圧力約 12MPaG，温度 400K の条件でアルコキシド反応の進行に伴い，完全に溶解した．

(3) 銅系金属である OMC，OFHC は圧力約 10~11MPaG, 温度 500K の条件でバイオエタノール中の硫黄成分の付着が確認された．

(4) 大気圧常温環境では，何れの金属材料もバイオエタノールによる腐食作用は確認されていない．

以上のことより，本研究で供した金属材料では A6061 や銅系金属（OMC，OFHC）以外の金属材料はバイオエタノールへの材料適合性を有することが判明した．一方，A6061 はアルコキシド反応の進行により溶解した．更にアルコキシド反応は温度依存性, 圧力依存性を有することが判明した．また，アルコキシド反応が進行した要因として，アルミニウムが他の金属材料と比較して酸化物を生成しやすい性質を有していたためであると考えられる．これから，A6061 はバイオエタノールへの材料適合性を有していないことが判明した．また，銅系金属（OMC，OFHC）は EPMA 分析により，金属表面にバイオエタノール中の硫黄成分の吸着が確認された．このためバイオエタノール中の硫黄成分によるサルファアタックが生じる可能性が示唆された．

・非金属材料の適合性評価結果

(1) PTFE，PEEK，EPR は圧力約 11～12MPaG，温度 400～500K の条件でバイオエタノールによる腐食作用が確認されていない．

(2) CFRP は圧力約 12MPaG，温度 400K の条件でバイオエタノールによりマトリックスのエポ

キシ樹脂が溶解し，炭素繊維に崩れが確認された．

(3) CFRP のエポキシ樹脂の溶解は大気圧・常温環境においても確認された．

以上のことより，本研究で供した非金属材料では PTFE，PEEK，EPR はバイオエタノールへの材料適合性を有することが判明した．一方，CFRP はバイオエタノールによりエポキシ樹脂が溶解し，炭素繊維が崩れた．この原因は，エポキシ樹脂とエタノール双方が O 成分を有するために相互作用があり，エタノール中 OH 基とエポキシ樹脂中 O が反応し，徐々にエポキシ分子構造が崩壊したためと考えられる．更にエポキシ樹脂の溶解は大気圧常温環境においても確認でき，CFRP はバイオエタノールへの材料適合性を有していないことが判明した．

## 文献


(1) 国土交通省：高濃度アルコール含有燃料に関する安全性等調査委員会について．

(2) 世利修美:エチルアルコール中の 6063 アルミニウム合金の腐食現象とその解析，Journal of Institute of Light Metals，Vol.59. No.7 (2009)，pp.359-364.

(3) 鈴木涼介，平岩徹夫，富岡定毅，升谷五郎：高温高圧エタノールによる金属腐食の予備試験について，第 11 回再使用型宇宙輸送シンポジウム，2010.3.10，東北大学.

(4) 岡島いづみ：亜臨界・超臨界流体を用いるプラスチック廃棄物のリサイクル，第 39 回石油・石油化学討論会浜松大会，2009.10.22.

(5) 森健太郎，宮原綾子，桑田理江，吉田暁弘，桑原穣，佐々木満，佐藤元信，柴田勝司：高圧高温アルコール処理を利用した CFRP からの炭素繊維回収，プラスチックリサイクル化学研究会第 11 回討論会，2008.9.17，熊本.

(6) 岩波 理化学辞典 第 4 版，岩波書店，1987.

# 次世代表面弾性波デバイス製造に向けた微細加工技術に関する研究

植杉　克弘[*1]，小川　健吾[*2]，福田　永[*3]

## 1　はじめに

半世紀前、点接触トランジスタが発明されて以来、マイクロエレクトロニクスは著しく発展してきた。21 世紀に入ると、半導体デバイス技術とナノテクノロジーが融合し、様々な物質を原子オーダーで操作し機能することが可能となり、ナノオーダーでの特異な性質を発現するナノデバイス・システムが構築されようとしている。

エレクトロニクスの発展を支えてきた技術のひとつに微細加工技術があり、現在、MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）として受け継がれ光通信デバイスなどの多くの製品を生み出してきた。一例として、表面弾性波（ＳＡＷ）デバイスが通信用機器に組み込まれ広く普及している。近年では、ガスセンサや溶液センサとしての応用も期待されている。

一方、1980 年代後半からマイクロ流体工学が切り開かれ、μTAS（micro total analysis system）という新しい化学分析システムの概念が生まれた。この分野は医療への応用が大きく期待されている。マイクロ流体チップを用い、微量の試料分析、反応時間の短縮、低コスト化、自動化および同時測定などが可能となる。これらのＳＡＷデバイスとマイクロ流体チップを利用し、マイクロ流体チップに弾性表面波デバイスを液相センサとして組み込んだラボオンチップ（Lab-on-a-chip）は医療の現場などでの応用が期待されている。本研究では、将来、生化学分野で使用されるＳＡＷデバイスを搭載したラボオンチップの製造プロセスを検討した。特に、ＳＡＷデバイスにおける櫛型電極（ＩＤＴ）の微細加工技術の検討を行った。

*1 もの創造系領域

*2 ファインクリスタル（株）

*3 しくみ情報系領域

## 2　実験方法

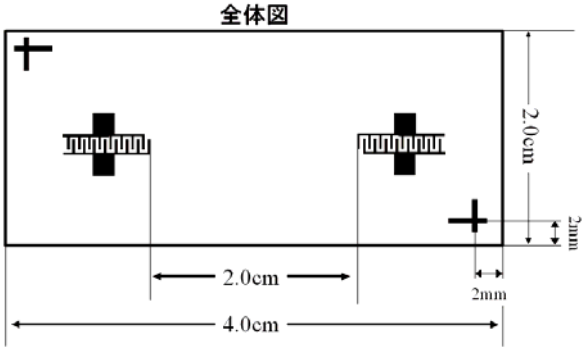



図１　Lab-on-a-chip 構成図

図１に今回開発した Lab-on-a-chip のレイアウトを示す。基板は ST カットの水晶を用いている。

図のように 2 cm の間隔を置いて、２対のＩＤＴを対向させて配置している。ＩＤＴのひとつは表面波発信源、もうひとつは受信側になる。今回の実験はＩＤＴ幅を均一に微細加工することが目的である。Cr 薄膜を使用したＩＤＴを加工するにあたり、サブミクロン加工が可能な電子線リソグラフィーを用いた。電子線リソグラフィーに用いる装置は、図２に示す構成になっている。電子線リソグラフィー装置は電子線加工装置および走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ）の機能を合わせた装置であり、単一のＳＥＭにはないブランキング機構が内蔵されている。ブランキング機構は、X-Y ステージおよび偏光器により電子線照射箇所を移動させるとき、移動中であっても移動軌跡にあわせて電子線が照射される部分は描画されてしまう。またビーム源からの電子線照射を止めると再度出力するときに電子線が安定するまで時間がかかる。この問題を回避するため、電子線の出力は止めず描

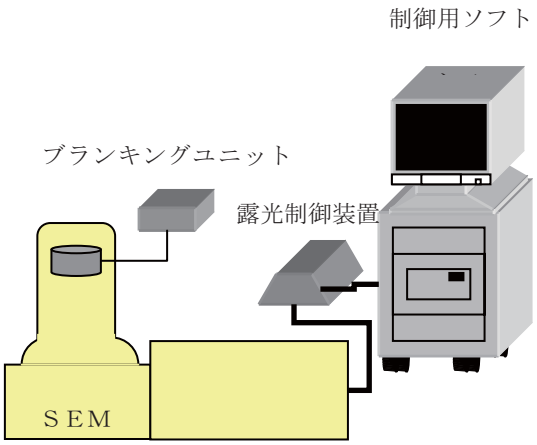



図２　電子線リソグラフィー概略図

画したくない場合にブランキング機構を作動させ、電子線の照射を仕切ることが可能である。ブランキング機構には電子線偏向器とブランキング専用アパーチャーを用いている。

本研究において電子線リソグラフィー装置は、北海道立工業技術センターに設置されているサンユー電気株式会社製 SPG-7 を使用した。電子線露光には、日本ゼオン製ポジ型レジスト ZEP-520A を用いた。また、Cr のエッチングにおいて、純水 78wt%、過塩素酸 5wt%および硝酸アンモニウム 17wt%を混合したエッチング液を用いた。

## ３ 実験結果

図３は、描画する間隔を６４ビットに分割して製したレジストパターンを示している。（ａ）はパターンの中央部、（ｂ）はパターンの端部を示している。レジストが残存している部分と比較して。水晶基板が露出している部分の方がやや広がっている傾向が見られる。

図４は、描画領域を４０ビットで分割して作製したレジストＬ＆Ｓパターンである。（ａ）は中央部、（ｂ）は端部を示している。図３と比較して均一なＬ＆Ｓパターンが得られることがわかる。

次に、レジストをマスクとして、下地 Cr のウエットエッチングを行った。Ｃｒ膜は、スパッタにより予め水晶表面に堆積させた。

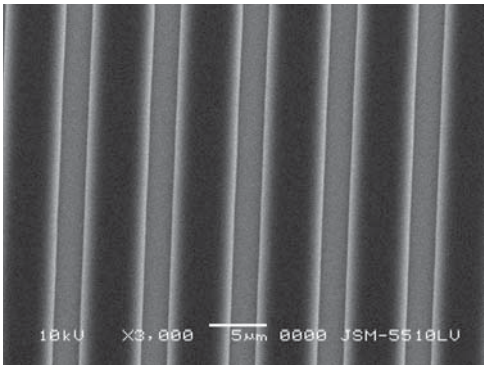



図３（ａ）パターン中央部

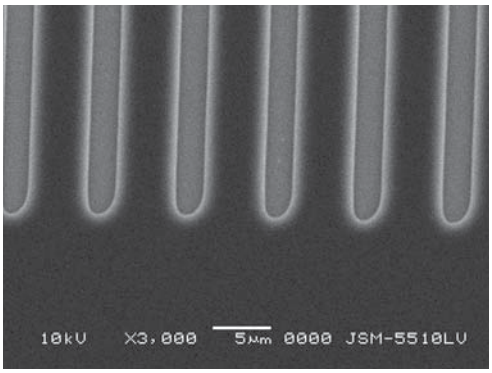



図３（ｂ）パターン端部

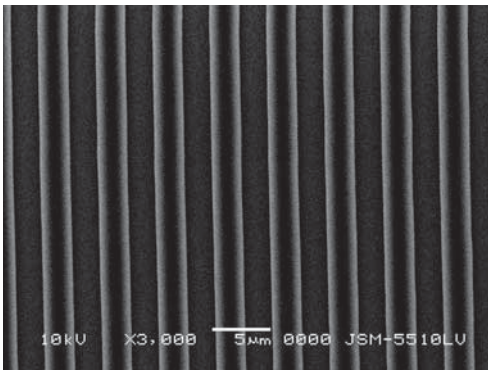



図４　（ａ）パターン中央部

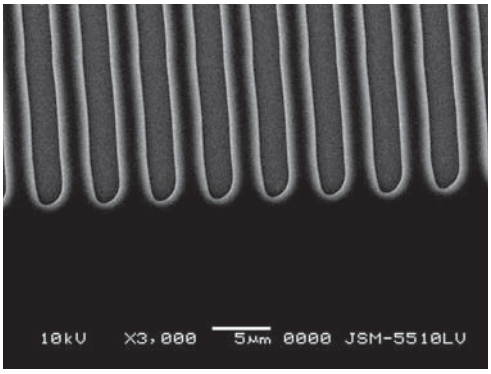



図４　（ｂ）パターン端部

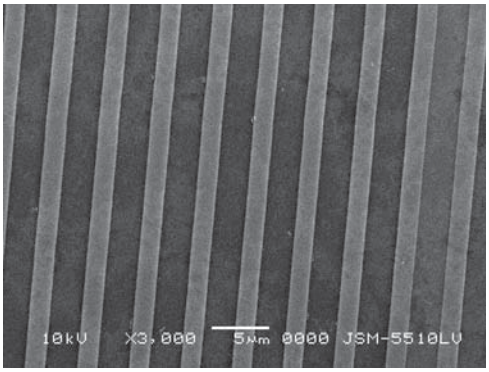



図５　（ａ）Ｃｒパターン中央部

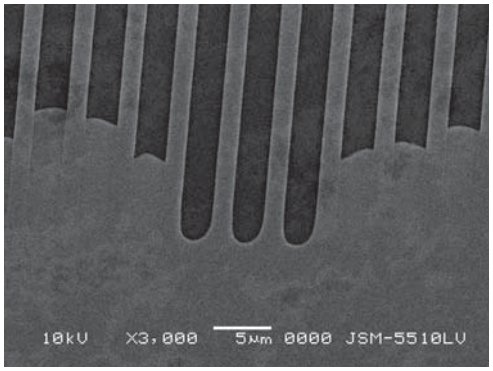



図５　（ｂ）Ｃｒパターン中央部

図５（ａ）に示すように、中央部においては 2μm の Cr パターンがほぼ均一に作製できている事が分かる。一方、図５（ｂ）に示すように、端部に関しては Cr の上のレジストが十分除去し切れていなかったため、端部周りで切れている箇所と切れていない箇所が見受けられた。この原因として電子線照射とブランキングのタイミングが影響しているためと考えられる。

## 4 まとめ

本研究は、医療用分析を目指したラボオンチップを実現するために、ＳＡＷデバイスの微細化を検討した。電極幅を μmオーダーにするため、電子線露光を用いたＣｒパターン形成を試みた。今回、２μmパターンを作製できる条件を見出したことで、さらなる微細化の可能性が得られた。

本研究の遂行にあたり、北海道立工業技術センター研究開発部の菅原智明主任のご指導を得た。ここに感謝の意を表します。

# 耐蝕性に優れた鋳鉄の開発

長船 康裕[*1]，藤原 貴志[*2]，佐々木 彬光[*3]

## 1　はじめに

近年，工業技術の向上と共に環境への影響が注目されいる. 産業用や レジャーなどに用いられる錘は鉛製のものが多い．このほかにも鉛はコストが安く使い勝手もいいため様々な製品に用いられている．しかし，鉛は酸性雨などの影響で変性した湖などに溶けだすことで水質汚染や土壌汚染が起こることが問題となっている．

EU では WEEE 指令や RoHS 指令によって鉛を使用した電気製品の販売が規制されている．これに対応した，鉛を使用しない製品の開発，鉛フリー化が進んできている．

環境に関する関心が高まる中，鉛から鋳鉄製に材質を変更した錘が実用化され注目されている．しかし，鋳鉄製錘は実用化され広く使用されるようになったが，最近，塗装の剥離面から発生する赤錆が問題となっている．この問題を解決するために，合金化によって鋳鉄自体の耐蝕性を向上させることが求められている．

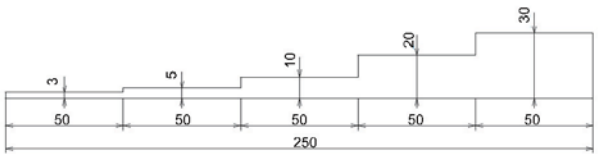
鋳鉄の耐蝕性の向上の研究として，Cr，Ni，Cu などの合金成分を添加させた報告があるが，いずれも赤錆を防ぐほどの効果は確認されていない. 10 数パーセントの Si を含有する Fe-Si 合金で優れた耐蝕性を有する報告はあるが, 多量の Si を添加した鋳鉄の研究はほとんどない．また，Si は自然環境中に多く存在し毒性もないため，環境を考慮した製品へ使用することに適していると考えられる．

本研究では，鋳鉄の組織，機械的性質，耐蝕性に及ぼす Si 添加量の影響について明らかにすることを目的とする．

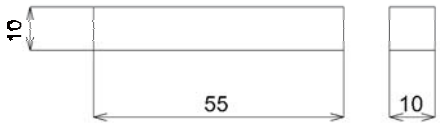
*1 もの創造系領域
*2 ㈱フジワラ
*3 大学院機械創造工学系専攻

## 2　実験方法

供試材は一般的な片状黒鉛鋳鉄の組成を有する溶湯の Si 含有量を 4,6,8,10,12,14mass%に変化させたものを $CO_2$ 砂型に鋳造した．含有炭素及びマンガンの目標組成をそれぞれ 3.3%と 0.3%とした．鋳造によって得られた試験片形状を図 1 に示す．試験片形状は階段状と抗折試験用の直方体である．




階段試験片




抗折試験片

図 1　試験片形状

組織観察は階段状試験片の厚さ 5mm の部分より作製し，研磨の後 3%ナイタールでエッチングを行った．硬さ試験は，ロックウェル硬さ C スケールにより行った. 抗折試験は JIS Z 2248 に基づいて行った．抗折試験片は 8mm×8mm×55mm の形状に研削加工したものを用いた．圧子半径は 5mm，クロスヘッド速度を 0.5mm/min とした．

腐食試験は JIS Z2371 に従っての塩水噴霧試験を行った．塩水濃度を 5%とし，試験時間は 1～300 時間で行った．表面の腐蝕成生物を除去し重量を測定して，そのときの重量減少量を腐蝕量とした．

## 3　実験結果

図 2 に得られた鋳鉄の光学顕微鏡組織写真を示す．Si 添加量 4%の試験片の基地組織はフェライトとパーライトの混合組織で黒鉛形状はA型であった．Si 添加量が 6%を超えると組織中のフェライトが増加した．Si にはパーライトを分解しフェライト化を促進させる効果があるためと考えらる．このフェライトはシリコフェライトと呼ばれ，少量の炭素と Si から構成されている．

また，Si 含有量が増加すると片状黒鉛の長さは短くなり黒鉛組織は微細になった．Si 添加量は黒鉛形状に大きな影響をおよぼすことが明らかとなった．

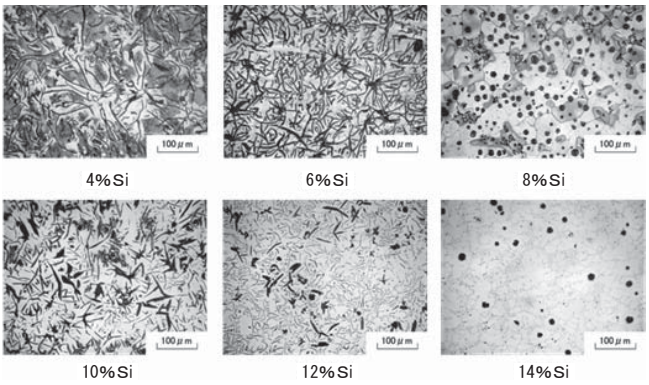



図 2　光学顕微鏡組織写真

図 3 にロックウェル硬さ試験結果を示す．ロックウェル硬さは，Si 量が多くなるほど増大した．これは，シリコフェライトの硬さ含有 Si 量の増加に伴って増大することに起因する．また，ロックウェル硬さ試験では黒鉛と基地組織の平均的な硬さを求めている．そのため，Si 量が多くなり黒鉛が微細化すると，その影響がロックウェル硬さの上昇として現れたとも考えられる．

抗折試験における破断荷重及び破断たわみををれぞれ図 4 と図 5 に示す．破断荷重と破断たわみは Si 含有量が増加するに伴い減少した．これは，Si 含有量の増加によってシリコフェライトの硬さが増大することが主な原因であると考えられる．このことから多量の Si 添加は靭性を低下させると考えられる．破断時の曲げ応力と Si 添加量の関係を図 6 に示す．鋳鉄の曲げ応力と引張強さには一定の比率があり，

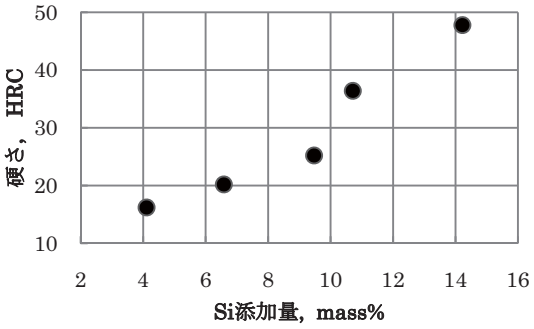



図 3　硬さに及ぼす Si 添加量の影響

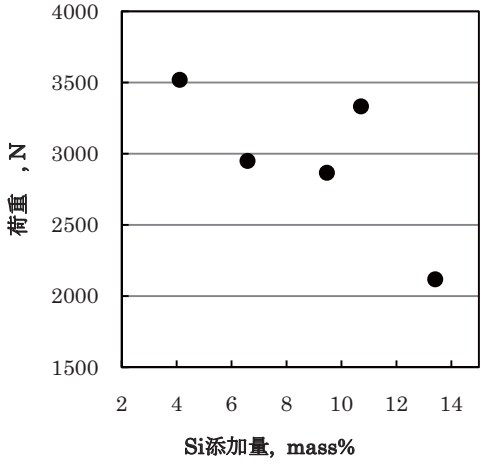



図 4　抗折試験の破断荷重と Si 添加量の関係

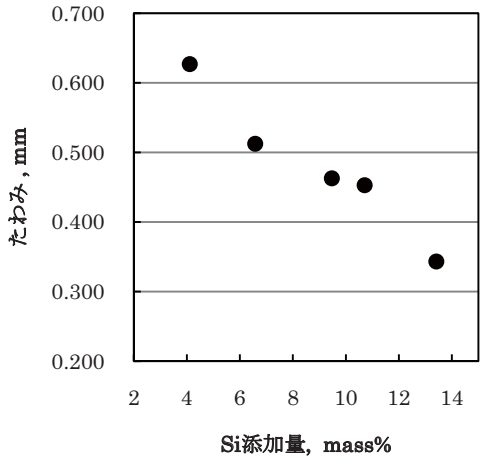



図 5　抗折試験の破断たわみと Si 添加量の関係

曲げ強さは引張強さの約 2 倍程度であるとされている．Si 添加量 4%は FC200 相当，Si 添加量 6%～12%は FC150 の鋳鉄の強度に相当すると考えられる．

また，Si 添加量 14%の試験片が他の試験片と比べ著しく低い応力で破断したのは，高硬度化にともなってき裂に対して敏感になり，試験片の表面状態が影響したためである．

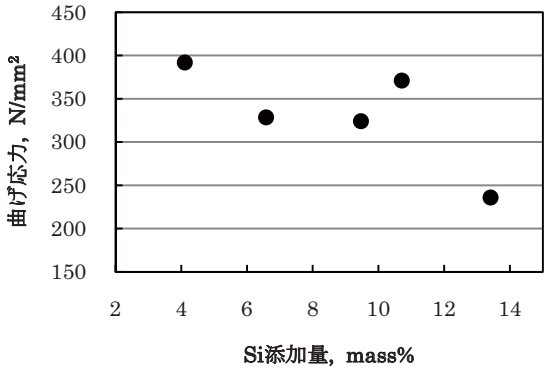



図 6　破断曲げ応力に及ぼす Si 添加量の影響

図 7 に抗折試験後の破断面の SEM 写真を示す．破断面はへき開破面となっており脆性破壊の発生が確認できる．また，Si 添加量の増大するとともにへき開面が大きくなった．このことからも多量の Si の添加は靭性を低下させることが分かる．

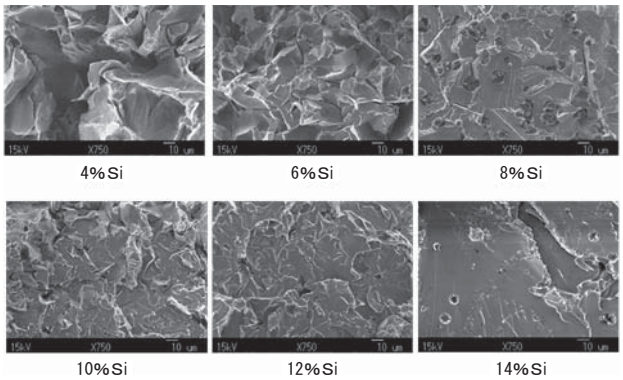



図 7　抗折試験後の破断面の SEM 写真

塩水噴霧試験における腐蝕生成物重量の計測結果を表 1 に示す．重量測定は腐蝕成生物の除去が不可能になるまで行い，不可能になったとき試験を中止した．4～10%までの添加量では 50 時間～100 時間までの早い段階で腐蝕成生物を除去することができなくなった．14%を超えると腐蝕成生物は生成されていなかった．

塩水噴霧時間と腐蝕量の関係を図 8 に示す．　4～10%までは腐食減少量に大きな違いはなかった．Si 量が 10%を超えると耐蝕性に向上がみられた．Si 量が 14%を超えると腐蝕量が測定できるほどのはっきりとした腐蝕生成物は形成されず，大きな耐蝕性の向上が確認された．

表 1　塩水噴霧時間と腐蝕量の関係

| | Si 添加量,mass% | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 時間（h） | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0.002 | 0.006 | 0.008 | 0.005 | 0 |
| 3 | 0.004 | 0.008 | 0.006 | 0.011 | 0.006 | 0 |
| 6 | 0.010 | 0.013 | 0.011 | 0.027 | 0.009 | 0 |
| 10 | 0.024 | 0.029 | 0.027 | 0.040 | 0.010 | 0.001 |
| 20 | 0.046 | 0.054 | 0.054 | 0.087 | 0.023 | 0.003 |
| 50 | 0.100 | 0.096 | 0.110 | 中止 | 0.071 | 0.002 |
| 100 | 中止 | 中止 | 中止 | 中止 | 0.171 | 0.003 |
| 200 | 中止 | 中止 | 中止 | 中止 | 中止 | 0.003 |

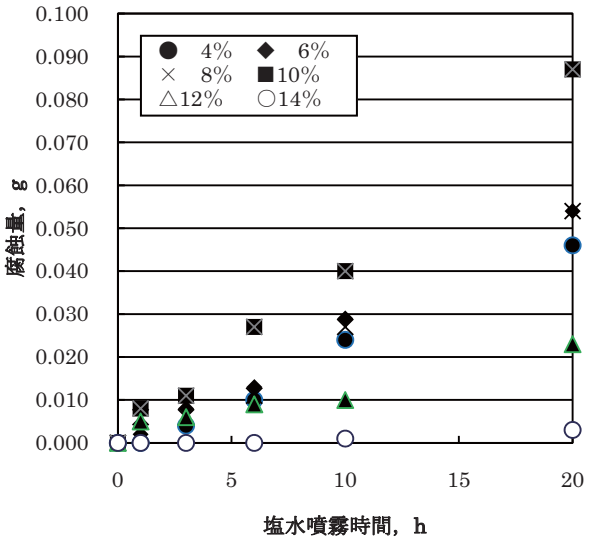



図 8　塩水噴霧時間と腐蝕量の関係

塩水噴霧後の試験片の外観写真を図 9 に示す．　1 h，20 h，300 h の塩水噴霧後に試験片を取りだし，表面が乾く前に写真撮影したものである．10%以下の Si 添加量ではいずれも赤錆が発生していた．また，Si 量が少ない鋳鉄ほど赤錆の発生が顕著であった．このことから，Si 量の増加は腐食進行速度を遅くすると考えれる．試験時間が 300 時間を超えるとほとんどの鋳鉄が赤錆に覆われたが，Si を 14%添加した鋳鉄では，赤錆は発生はごくわずかであった．

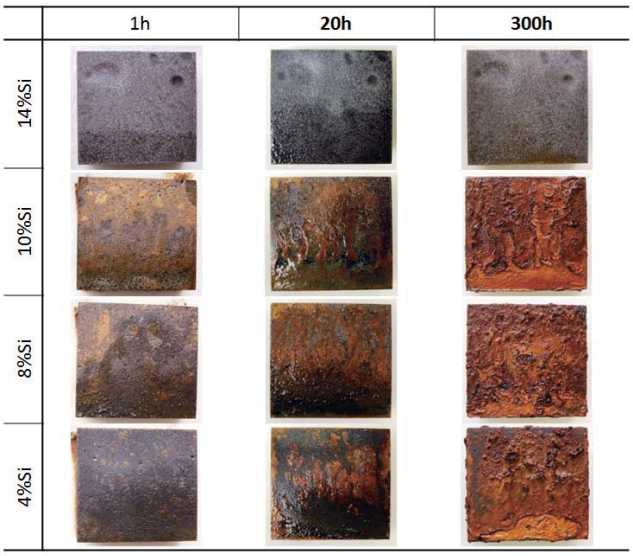



図 9　塩水噴霧時間と試験片外観写真

## 4　結論

Si 添加量を 4～14%に変化させた鋳鉄を製作し，組織，機械的性質，耐蝕性におよぼす Si 添加量の影響について調査した結果，以下の結論が得られた．

(1) Si 含有量の増加に伴い基地組織のシリコフェライト量は増加する．また，黒鉛は微細化する．
(2) Si 含有量の増加に伴い硬さは増加する．
(3) Si 含有量の増加に伴い破断荷重は大きくなり，たわみは小さくなる．
(4) Si 量が多いほど腐蝕の進行速度は小さくなる．
(5) Si 添加量が 10%以上で耐蝕性への効果が現れ始める．
(6) 14%Si 以上の添加では赤錆を伴う腐蝕は発生しない．

謝辞

北海道立工業技術センターの高橋志郎氏に塩水噴霧試験の協力を得た．謝意を表する．

# 【第 22 回 大学・企業技術交流会】

# フロンティア技術検討会
# 第 22 回 大学・企業技術交流会
# 講演録

日　時：平成 21 年 12 月 2 日(水)　16:25～18:00
会　場：中島神社「蓬峠殿」
参加数：90 名

## テーマ　：　世界と地域から地球環境への取組みを考える

## 演　題　：　オバマ大統領のグリーン・ニューディール政策から日本を考える

講師　エネルギー戦略研究所株式会社
取締役研究所長　山　家　　公　雄　氏



今日はグリーンニューディール政策とはどういうものか，発信源であるアメリカから見たグリーンニューディール政策とは，それを表裏一体となって支えるスマートグリッドとは……ということを中心に説明したいと思います。そこから日本を見たときにどういう状況，どういう課題，可能性があるのかについてもふれていきたいと思います。

今は環境制約の時代です。ここが議論のスタート地点です。先進国は 2020 年までに $CO_2$ の 2ー3 割削減，2050 年までに 6ー8 割削減，オバマ大統領と鳩山首相の話し合いでも 8 割削減の方向で意見が一致したという報道もあります。これは大変なことなのですが，本当にできるのか，それを支えるインフラがスマートグリッドだと思うのです。$CO_2$ 削減目標を達成するためには，需要供給さまざまな面でさまざまな取り組みをしなければなりません。テクノロジーの発達によって省エネやエネルギーの有効活用を促進するのは当然ですが，これが 6ー8 割の削減目標に追いつかないと経済成長が見込めません。これは恒等式なのでどちらも成長が見込めないことになります。

供給面では $CO_2$ を出さない，原子力発電や再生可能エネルギーなどが注目されています。まさに環境制約が人類の歴史の中で大きな変革を迫っている。世界的に低炭素社会を進めていくと，$CO_2$ コントロールを可能にする電力にシフトしていくのが一般的な見方です。日本政府のエネルギーの長期的な見通し，IEA の長期見通しをみても，$CO_2$ 削減を進めるケースだと電気の割合がどんどん増えて，その分 $CO_2$ がぐんと減って低炭素社会になんとかつじつまがあう。低炭素社会は電化の時代といえます。ただ，低炭素社会は電力システムの変革も迫っている。エジソンとテスラーが交流か直流かで議論して以来，100 年交流の世界が続いている。交流で大規模発電所を作って，遠くまで運びながら末端まで一方通行で電気を送る，というのが今の電力供給システムです。しかし，これが大きく変わる可能性があります。

まず低炭素社会をイメージしてみましょう。省エネが進み，再生可能エネルギーがどんどん入ってくる，太陽光発電パネルの需要化が進む，電気自動車やハイブリッドカーなどのエコカーの普及に伴い，各家庭にバッテリーが普及する，バッテリーは電気を貯めるだけではなく発電にも働く，末端の需要化がエネルギーと向かい合い，省エネに邁進して自分で発電したり貯めたり出したりできるようになっていくと 3 つの面で大きな変化が出てくる。

一つは，再生可能エネルギーは出力が不安定なため，いつ発電できるかわからなくなる。二つめは，末端の需要化も発電し電気がどんどん増える。一方通行だった電力供給がマルチディレクション，双方向になる。電力会社にとっては末端の配電線のコントロールは未経験である。また，現在は交流体系で電気が流通し，工場のモーターや発電所のタービンが回転数を調整しながら周波数や電圧を自動的に一定になるようにし，停電や事故があっても調整しやすい体系になっているが，そこに直流の世界が入ってくる。太陽光発電もバッテリーも直流であり，需要家の家電等にコンピュータ制御の直流がどんどん入ってくることになる。これが三つめです。これらをどう折り合いをつけるかが課題なのですが，いずれにせよ低炭素社会をつきつめればこの流れはもう止められません。不安定電力・双方向の電力流通・直流の割合増加，という世界が拡大すると，既存のインフラに影響を与えず折り合いをつけて供給の安定性と信頼を保ちながら低炭素の要素を組み込んでいくにはどうすればよいか，という問題が生じます。そこを解決するのがスマートグリッドなのです。

低炭素社会とひとことで言っても，どういう社会かイメージが湧かないかもしれません。世界の中でも低炭素社会の試みを積極的に行っているということで，よく引き合いに出されるのがアメリカ・カリフォルニア州です。

カリフォルニア州は単独でも GDP が世界 6ー7 位と，かなり影響力があります。たとえばカリフォルニア州の省エネ住宅の建築基準は 3 年ごとに更改されます。2012，2015，2020 と節目の年に対応している住宅の建築基準について，2005 年を基準としたときにそれぞれ 35，55，65％という省エネ率が出ています。これは供給する側の建設業者にも義務づけられています。2020 年に「ZNE」とあるのは「Zero-Net-Energy Home-Area-Network」の略で，家の中の電気エネルギーは全部自分で作るということを示しています。65％まで住宅で省エネが達成されているはずなので，残り 35％は分散的なエネルギー減で自分で供給する，ということです。当初は灯油や天然ガスなどの化石燃料を使った分散でもよいが，徐々に再生可能エネルギーに変えていき，最終的にはすべて自分で供給して $CO_2$ 排出をゼロにするということをコード（規則）で義務づけようとしているわけです。そうすると年間通して自分で電力をまかなうことになりますが，フラクチュエイト（変動）するため，足りない分や余った分は電力会社が投資してバックアップし

ます。これがいわばひとつの低炭素社会のイメージとなるわけです。

サザンカリフォルニアエジソン社は，ロサンゼルスを供給地区としている電力会社です。資料 26 ページの表に記載された 4 行の「10」はこれから実証実験していくということで，40 軒の家庭をモデルとして，最初は 2005 年時点のコードで生活してもらいます。その後 2012，2015，2020 年にこうなるはずだという設備のもとで生活してもらい，電力会社としてそれに耐えうる省エネシステムやスマートメーターを導入したり，バッテリー制御をどうするかといった実験を今から行っているわけです。

資料 26 ページの用語を説明します。「Home Area Network」は，家の中の家電の使用状況をセンサーと通信を使って逐次把握し，電力会社に情報がいき，リアルタイムの電気料金情報を家庭に流すことで最適な電力消費を促すというもので，今後は徐々に定着すると思われます。「PV」はソーラーパネル，供給側に設置が義務づけられています。「PEV」はプラグインハイブリッド，電気自動車の定着を前提として，住宅にコンセントなどの設備を義務づけていくというものです。以上，ひとつのイメージとしてカリフォルニア州の取り組みをご紹介しました。

今週月曜日の新聞に EU の取り組みが発表されました。2021 年の住宅建築基準として，2021 年以降 $CO_2$ ゼロをめざすという内容です。カリフォルニアが取り組もうとしていることと EU の今後の方針はよく似ています。

グリーンニューディール政策はアメリカが火付け役となりました。グリーンニューディール政策は，$CO_2$ 削減と経済成長の複数の目的を同時に達成しようというものです。$CO_2$ 削減だけではコストが上がって経済が停滞するのではという懸念があり，経済成長の面でマイナスイメージがあります。そこで $CO_2$ 削減と同時に新たな産業・雇用を生んでいこうというもの，それがグリーンニューディール政策です。アメリカ・EU・中国・日本は景気対策の中にグリーンニューディール政策を取り入れており，どの国も省エネ・再生化エネルギー・エコカーを掲げています。日本も 5 月に 15 兆円の補正予算を組んだ際にこれらを「新・三種の神器」と称しています。

グリーンニューディールという言葉は，クリーンテクノロジーあるいはグリーンテクノロジーのブームとともに，2005ー2006 年から出てきました。私の理解では発生地はシリコンバレーではないかと思っております。私は 2001ー2003 年までロサンゼルスに駐在しており，シリコンバレーにも何度か足を運んでいました。当時ちょうどドットコムバブルがはじけ，シリコンバレーはかなり困っていました。シリコンバレーは 10 年ごとに大きな技術革新の波があります。私が見たシリコンバレーも，つねに世界の最先端のウェーブはシリコンバレーから発信する，というプライドを持っている印象がありました。では，インターネット・バブルがはじけたあとに続くテクノロジーとは何なのでしょうか? これがないとシリコンバレーはたいへん厳しい状況下に置かれます。そこでいろいろな候補の中から，クリーンテクノロジーが次のブームとして浮上してきたわけです。2005ー2006 年にはソーラーベンチャーやバイオ燃料，省エネバッテリー，スマートグリッドなど続々と出てきており，それらを総括してクリーンテクノロジーまたはグリーンテクノロジーと呼んでいます。

もうひとつ，グリーンジョブという言葉があります。こちらがグリーンニューディールよりも先に出てきたのです。『グリーンエコノミー』という，2008 年秋の大統領選挙で舌戦が繰り広げられているさなかに出た本があります。書いたのはヴァン・ジョーンズ氏。日本ではあまり知名度は高くありませんが，まだ 41 歳の若さで，「21 世紀のマーティン・ルーサー・キング」とも呼ばれているほど，グリーンニューディール政策に大きな影響を与えた人物です。

ヴァン・ジョーンズ氏はケンタッキーに生まれ，イェール大学を卒業後に環境 NPO 等を立ち上げました。あるときサンフランシスコに移り，オークランドで「獄中の若者に仕事を」という主旨の NPO を立ち上げます。サンフランシスコで彼は，とくに黒人の若者に職がなく困っているのを目の当たりにしてショックを受けたのです。軽い犯罪でも一度刑務所に入ると職を失って立ち直れない若者たちを大勢見て，なんとか職を生み出したいと考えた。そこでこれからはグリーンジョブだと考えたのです。

ちょうどこのころ民主党が選挙で勝利。サンフランシスコ選出の下院議員で現在下院のハウススピーカーを務めるナンシー・ベルーシ氏が若いオピニオンリーダーを集めてディスカッションしたことがありました。そのときヴァン・ジョーンズ氏が「グリーンエナジージョブビル」と連呼して訴えました。その声にベルーシ氏が注目して，翌週にはワシントン DC に行って労務省の幹部を呼び，「グリーンエナジージョブビル」を作る準備を要請しました。2007 年 12 月には新エネルギー法が成立。そこにグリーンエナジージョブが盛り込まれたのです。こうした経

緯から，ヴァン・ジョーンズ氏はグリーンジョブの提唱者として一躍名を馳せることとなりました。

オバマ政権のグリーンニューディール政策は，ヴァン・ジョーンズ氏の考え方がバックボーンとなっています。彼にはカリスマ性があり，その演説を聞いた人は深い感動を覚えるそうです。彼はウェザライゼーションや再生可能エネルギーのインフラなどを具体的に話すことが多いようです。ウェザライゼーションとは断熱材などを含めた建物の省エネ改造のことです。ヴァン・ジョーンズ氏はこの言葉を使って，全く新しい，すごいことをやるというイメージを作り上げたのです。アメリカが不況で新築着工がなかなか望めない中，既存の住宅を改造すればジョブ創造にもなるし，省エネ改造することで末永く国民の財産にもなる，という発想です。彼は，低所得者層から順にウェザライゼーションを実践することを唱えています。

また，再生可能エネルギーのインフラという観点からも彼は主張します。たとえばオクラホマやコロラドなどアメリカ中西部は風が強いので，風力発電ができます。しかし人口がまばらで電気の需要は少ない。一方，ニューヨークなどの東海岸では電気供給が不足している上，環境に関心持つ人が多い。ならばふたつの地域を電線で結べばよい，という彼は考えます。しかし電線コストは膨大すぎて，費用対効果を考えると非現実的すぎるという意見がある。そこで彼は言います。アメリカには，フロンティアによって切りひらかれた歴史がある。その開拓精神が節目ごとにインフラを整備してきた。今は当たり前の鉄道も，ゴーウエスト時代には大きなリスクのある投資だった。とはいえ，ゴーウエストで国境最前線に立つ人々のためのインフラを作らなければならない。そこで先人たちは大きな情熱を持ち，まさに国家のセキュリティのためにリスクを乗り越えて投資してきたではないか，と彼は訴えるのです。

もうひとつの例として，彼は情報ハイウェイを挙げています。情報ハイウェイはもともと軍のための技術だったが，情報通信インフラはアメリカのセキュリティとして不可欠なもの。最初こそそれほど影響力があるとは誰も考えなかったけれど，それがインターネットを生み，アメリカの地位を不動のものにし，世界に多大な影響を与えたではないか，と言うのです。彼は，次に必要なのは再生可能エネルギーに基づくグリーンインフラだと主張します。海外から輸入する原油に頼るリスクを考えると，国家セキュリティのためにもやらなければならない。これを達成すれば，アメリカは再び次世代のグリーン社会の旗手として世界に大きな影響を与えることができる。そう訴える彼の言葉にアメリカの人々はみんな感動して，グリーンニューディール政策の必要性を考えるようになってきたのです。

スライドに収めているのは，オバマ大統領の選挙公約です。大統領になって１ヵ月足らずで景気刺激策(スティミュラス･パッケージ)に 8000 億ドルの予算を投じ，そこにグリーンニューディール政策も盛り込みました。包括的なエネルギー法案にまだ盛り込まれていない内容については，$CO_2$削減率やキャップ&トレードの配分，連邦政府として再生可能エネルギーの導入義務づけをどうするかなど，まさにいま議論されているところです。また，再生可能エネルギーを中心としたグリーンエネルギーによる雇用促進への助成もはかられています。エコカーの面ではプラグインハイブリッドの普及促進。アメリカはプラグインハイブリッドに焦点を絞っています。さらにウェザライゼーションを含めた省エネ対策も盛り込まれています。これらのエコカー・再生化エネルギー・省エネという新・三種の神器の共通インフラとして，スマートグリッドの構築という目標が掲げてられているのです。

再生可能エネルギーについてお話しします。日本ではもっぱら太陽光発電に突出した政策になっていますが，世界的にみると再生可能エネルギーとして圧倒的な存在感を示すのは風力発電です。それはコストが安いためです。世界の風力発電導入量は１億 2000 キロワットにのぼります。各国別でみるとアメリカ，中国が上位で，アメリカの風力発電導入量は 840 万キロワット。泊原発 3 つ合わせて 200 万キロワットあまりですから，1 年間の発電量としていかに多いかがわかります。

PG&E(サンフランシスコにある電力会社)が昨年 8 月に発表したデータによると，太陽光発電のディベロッパー契約は 250 万キロワット。日本の 2008 年の太陽光発電設置総量は 23 万キロワット。日本の年間設置総量をひとつの電力会社が 10 倍以上まかなっていることになります。カリフォルニアは再生可能エネルギーのポートフォリオ割合が非常に高く，2010 年までに 20%，2030 年には 33%が再生可能エネルギーで占めるよう義務づけられています。だから電力会社は目標達成に向けて大規模な開発をどんどん進めざるをえないわけです。

グリーンニューディール政策には，$CO_2$対策だけでなく，綿密な国家戦略が含まれています。ひとつは

中東石油依存からの脱却。オバマ大統領の選挙公約にも「10年以内に中東・ベネズエラからの石油輸入をゼロにする」と記されています。そのためにはプラグインハイブリッドカーを普及させること，ガソリンから国産電気への移行が不可欠。実は電気の半分は石炭からできていて，アメリカには国内に無尽蔵ともいえる石炭があります。石炭で電気を作って電気自動車を動かす場合，エネルギー効率が良いので$CO_2$は減ります。「石炭の電気自動車ロンダリング」と言う人もいるほどです。

また，アメリカはバイオ燃料を推進しており，2030年までに600億ガロンをめざしています。既にブッシュ時代にエネルギー法で，バイオ燃料360億ガロン(穀物由来150億，穀物以外210億)を義務化しているため，穀物以外の210億を600億にあげると解釈できます。つまり，足して750億。これはガソリン消費の4割程度にあたります。ガソリンからトウモロコシやセルロースなど国産のバイオ燃料に切り替えて，輸入ゼロをめざすわけです。

アメリカは自動車戦略をハイブリッドに絞ったと先ほど申し上げましたが，EPRI（電力中央研究所）が予想した普及状況では，新車販売に占めるプラグインハイブリッドの割合は2020年に1/3，2025年には半数，残りがハイブリッドやコンベンショナルになると予想しています。

ハイブリッドといえばトヨタのプリウスのイメージがあるかと思います。ハイブリッドカーとはバッテリーを使った電気モーターとエンジンで駆動し，双方の調和をとりながら走るもの。プラグインハイブリッドは家庭のコンセントからも充電でき，バッテリーの割合を大きくしてバッテリーでの走行距離を伸ばすというものです。トヨタのプラグインハイブリッドはプリウスタイプで，バッテリーとエンジンの両方を搭載していますが，GMなどアメリカの自動車メーカーは電気自動車をイメージします。エンジンまわりで動く系統はなく，電気だけで動くのです。ハイブリッドは深夜電力で充電して走り，電池がなくなる寸前にガソリンスタンドでガソリンを入れて発電してバッテリーに充電します。電気自動車は性能やコスト面から長距離に対応しにくいため，国土の広いアメリカではプラグインハイブリッドのほうが現在のガソリンスタンドのインフラを活用できるのです。何よりも電気自動車の一種なので，モーターとバッテリーがあれば誰でも作れることも魅力です。エンジンまわりのテクノロジーの競争力が弱く，ハイブリッド技術でも日本にかなわないアメリカが，プラグインハイブリッドなら再生できるかもしれない，と期待しているのです。

アメリカにとって自動車メーカーの再生は大変重要です。プラグインハイブリッドを支えるインフラは電気で，個別にさまざまな時間・場所で充電でき，充電したバッテリーを自動車だけでなく，家庭や電線に戻すことも想定されています。しかし，そんな高度な技術がアメリカのインフラでできるのでしょうか。しかし，やらないと自動車業界の再生は望めない。予想される普及スピードに間に合うよう，なんとしても電力インフラを整備しなければならない。それがアメリカのスマートグリッドが求められる大きな要因となっているのです。

バイオ燃料についてお話しします。2005年に包括エネルギー法案という，ブッシュが希望していた法案が成立し，バイオ燃料の使用義務が導入されました。2020年までに360億ガロンという目標を達成するため，最初はトウモロコシから徐々にセルロースなどに開発を進め，ゆくゆくは食との競合のないバイオ燃料を実現することをめざしています。プラグインハイブリッドはバッテリーだけでなく液体燃料が残るので，バイオ燃料も使えます。しかし，なぜトウモロコシにこだわるのでしょうか。穀物価格の高騰によって北海道でも酪農・畜産農家が穀物飼料の暴騰に困ったという話は記憶に新しいところ。その原因の大部分は投機だったのですが，バイオ燃料犯人説もあります。穀物価格があがると世界的な影響があるけれど，アメリカにとっては収入が安定するし，農務省にとっても価格差を補填する補助金を減らせるというメリットがあります。欧米の食糧政策では，穀物は余剰気味に作って供給安定させる。すると価格が低くなります。一般的にはいいことに思われますが，困るのは農家です。そこで農業政策が必要になり，農業を続けるインセンティブが補助金等で維持されます。ただし，そういう食糧政策をとっている限り，どうしても主食は過剰になります。だから補助金付きで輸出するという，ある意味身勝手な政策を欧米はとってきたわけです。WTOからの批判もあり，穀物が余ったら燃料にして調整しようということになりました。つまりバイオ燃料はもともと農業対策から来ているので，アメリカから見れば矛盾はないわけです。アメリカは畜産に伴うトウモロコシ，ヨーロッパは小麦，ブラジルはサトウキビ。翻って日本で考えると米ですね。いま日本にも休耕田や休耕作地などがたくさんありますが，それは過作対策をとってなかったからではないでしょう

か。むしろ余裕をもって作ってもらい，調整として飼料用米・燃料用米を作ればいいのではないかと私は思います。それをまとめたのが 2 年前に書いた『日本型バイオエタノール革命』だったのです。

余談ですが昨年 10 月，ブラジル・サンパウロへ行ったとき，ガソリンスタンドでガソリンとアルコールの価格が出ていて，アルコールがずいぶん安かったのを覚えています。カロリーで 3ー4 割ハンディもあるのですが，それを含めても安い。ブラジルのアルコールの競争力はすごいなと感動したことがありました。アメリカの国策，ブラジルの競争力を考えると，バイオ燃料は世界的に見て増えていくだろうと思いました。

グリーンニューディール政策では，中東依存からの脱却，主要産業の支援復興が掲げられています。今申し上げた自動車産業の復興，バイオ燃料による農業支援，更に IT 産業や電気機器産業にもスマートグリッドは戦略的に良い方向へ行く仕掛けとなると思っています。

IT と電気を中心としたエネルギーが融合する領域からお話しします。北海道でも話題になっているデータセンターに代表されるように，IT は電気を大変消費します。省エネシステムを社会的に進めてもらうことは，IT 産業にとってとても重要です。それをスマートグリッドの形で進めれば，大きなビジネスチャンスになるのです。

また，低炭素社会では家庭がエネルギーに直面することになります。電気を作るところと使うところ，充電メーカーと弱電メーカーが接近してくる世界になります。電力のインフラシステムを考えると，やはり家電が標準化も含めて影響を受けるのです。世界に先駆けてシステム構築して標準化したところが競争力を持ってしまうわけです。アメリカがどんどん先駆けてやることで，情報家電を含めたマニファクチュアの復活にもつながっていくでしょう。

$CO_2$ 削減からは，多彩な国家戦略が見えてきます。資料 11 ページは EEI（日本の電気事業連合会にあたる電力業界団体）が自分たちに関係する経済対策を整理したものを翻訳したもので，さっき申し上げたスティミュラス・パッケージという 8000 億ドルの景気対策の一部です。送電線やスマートグリッドなどの流通インフラは経済対策に入ることはあまりありませんが，コスト使用分の料金が保証されていて回収することができます。これが経済政策の大きな割合を占めているのです。電力業界から見るとプラグインハイブリッドは自分たちの政策だと思っているのが興味深いところです。

ではスマートグリッドとは何なのか。ご存じの方も多いと思いますが，スマートメーター，電気やガスの使用量を自動検針する装置で遠隔操作が可能なものを指します。遠隔操作できるので，いちいち電力会社の社員が調査に行かなくて済み，人件費を削減できます。また，支払延滞者に対する電気停止の措置なども本人に会わずにできます。そこに通信の機能も盛り込み，家の中の空調や情報家電，テレビ，自動食器洗浄機，洗濯機などにもセンサーをつけて無線でコントロールして，電気使用量を逐次知ることもできます。さらに自ら発電するので，ソーラーパネルやプラグインハイブリッドがあれば，発電状況をセンサーで調べて発電をコントロールすることもできます。それらの情報を電力会社のコントロールルームで集計し，双方向に使い方を把握して情報を流すことで家庭は電気使用量をコントロールできるので，省エネに役立ちます。

スマードグリッドとはつまり，ひとつは家庭のディスプレイで電気使用量を調べてコントロールするというスマートな機能。もうひとつはディストリビュート・エナジー・リソース，低炭素社会の需要家は自分で発電する機能を持っているものといえます。これは良いものだけど制御が大変。パネル，バッテリー，定置式リチウムバッテリー……電力使用状況を予想してコントロールするのは難しいので，バッテリーで貯めたり出したりして，できるだけ外の電力会社のインフラにあまり影響を与えないようにします。ディストリビュート・エナジー・リソースとは分散電源，ディストリビューテッド・ジェネレーター，エネファームなどのイメージです。スマート時代の分散電源で決定的に違うのは，バッテリーが入ってくることです。また，空調もピーク時に温度を抑えることで電気をコントロールできれば，発電しているのと同じことになります。このように家庭の中でも電気を作る方法がいろいろ出てくるので，これらをインテグレートしてどううまく制御するか，そこで IT とバッテリーが重要な役割を持つ時代になってくるのです。

たとえば北海道電力の中央給電所にコントロールルームがあり，そこに各家庭からのこまかい情報を上げていくのは大変です。そこで営業所や変電所でローカル情報をいったん集計して，中央に送って意志決定します。

この絵は，サザンカリフォルニアエジソンという電力会社と，グリッドポイントというスマートグリ

ッドのベンチャーが書いたシステムイメージです。スマートメーターとコントロールがあって，ここまでが需要家。プラグインハイブリッド・再生可能エネルギー・バッテリー・ロードコントロールを束ねてコントロールして，あとはインターネットで電力会社のオフィスに送り，家庭へ送られる。ここにグリッドポイントのコントロールルームがあります。グリッドポイントは，分散的エネルギー資源をローカルでインテグレートするシステムを開発しているベンチャーです。マーケットが一方で完全自由化されれば，マーケット情報があればこの会社自体がトレーシングできるのです。アメリカではこういうベンチャーも出てきています。

では，今後は具体的に何をやるべきなのか。それは再生可能エネルギーの積極的導入・電気自動車の普及促進・停電対策です。アメリカの電力インフラは日本に比べて品質がよくないため停電しやすいのです。そこで日本並みに品質アップをはかることはアメリカにとって効果があります。

具体的な事例をお話しします。私は 3 月に調査団の一員としてアメリカに行き，コロラド大学学長宅を見学してきました。グリッドポイントではピーク価格設定事業を州当局に申請していて，1 日のピークの時間帯である 14:00ー20:00 と，1 年間で最も電気が使われる 15 日間について別料金を課すという実験です。それに参画してくれた人には安く電気を提供されるというもので，コロラド大学の学長が自分の家をモデルハウスにしているのです。日本に比べるとずいぶん大きな家ですが，この家の最大電気使用量は 15 キロワット。3 キロワットの太陽パネルをふたつ置いていて，日中発電している間はどんどん電気を使います。曇って発電量が落ち，電力会社から電気を購入する状況になると，ピークではない夕方以降に動いてもかまわないもの，食器洗浄機や洗濯機などは自動的にストップするしくみになっています。供給に合わせて需要をコントロールする実験です。家の中にはリチウムイオンバッテリーがあり，10 キロワットの電気を貯めたり出したりしている。このリチウムイオンバッテリーは停電時に 47 時間電気をまかなうことができます。玄関前にはプラグインハイブリッドがあり常時充電。ここのソフトもグリッドポイントが作っています。いつ充電してもオフピークにならないと稼働しない設定になっている。これはポータルサイト。ディスプレイで自分の家の中の電気の作り方・使われ方をリアルタイムで見ることができます。見せ方が上手いですね。各部屋ごと時間帯ごとに最適温度を設定したり，過去 30 日間の太陽光発電状況をドルベースの価値ではかったり，太陽光発電による環境価値を植林のヘクタール分で換算するなど，わかりやすく説明しています。

これはサザンカリフォルニアエナジーの例です。カリフォルニアは低炭素時代の先端に立つべく邁進していて，州政府主導でさまざまな義務づけを行っています。省エネの一環でスマートメーターを設置するスケジュールの作成・登録の義務などもそのひとつです。

カリフォルニアは 2006 年の州法で温暖化の削減対策法を成立させ，それをベースにいろいろな取り組みをしています。ちょっと可哀想になるくらい厳しい規制がたくさんありますが，インフラ全体のキャパ拡大は各家庭の利害感情があるためなかなか見込めないのが現実。そこを補うのがスマートグリッドです。とはいえ，スマートグリッドにはムチもあればアメもあります。停電が起きやすい流通システムを，スマートグリッドのもとに補助金を使って更新できることになっています。これは電力会社にはありがたいことです。また，省エネが進むと電力消費量が下がって企業収入に影響することが考えられますが，連邦政府が省エネを進めたユーティリティに対して，何らかの形で補填するシステムを提示しています。

こういった中でサザンカリフォルニアエジソンはモデルハウスを作って対応しようとしています。プラグインハイブリッドやソーラーパネルがあり，家庭の電気をコントロール。中にはコロラド大学学長宅のようにコントローラーやバッテリーが入っていました。スマートメーターから家庭の空調などとの情報のやりとりは簡易無線を使って，メーターと自動車は電力線を使って通信します。サザンカリフォルニアエジソンのコントロールルームとの長距離通信は無線のブロードバンドを使います。

スマートグリッドはシステム的には基礎となるエネルギー・コミュニケーションインフラによる通信・IT インフラ・デマンドレスポンス・マイクログリッドなどがあり，それらの組み合わせによってシステムを構築していくものです。現在スマードグリッドのマーケットは，さまざまなベンチャーおよびジャイアントが入り乱れた猛烈なシステム提案合戦になっています。たとえばスマートメーターのメーカーは大手が多いけれど，テクノロジープロバイダはベンチャーから大手までさまざまです。ホームエ

リアネットはベンチャーからグーグル，マイクロソフトまで，いずれもウェブを通して無料で顧客需要家に使い方を画面で表示するシステムを提供しています。彼らは，電力使用に関する情報は顧客のものだと言います。電力会社が集めた情報は無料で提供する義務があると主張し，議論になっているのです。さらにプロバイダやメーカーが膨大にあり，現在世界には雲霞のごとくいろいろな動きがあってとても興味深く思います。

日本とアメリカの比較ということとなりますと，似たようなことを行っているのですが，グリーンニューディール政策には戦略的なストーリーがあります。オバマ大統領も選挙期間中にそれを強く主張していました。しかし，日本にはストーリーが見えないのです。日本も単にメリットだけを謳うだけでなく，国家戦略をオモテに出すべきではないかと思います。民主党政権は 25 年という実現計画を打ち出しましたが，ほんとうに実現できるのでしょうか。事業仕分けによってグリーンニューディール政策の中心を占める再生可能エネルギーは補助金廃止となり，大混乱をきたしています。この時代に廃止なんてウソのような話です。マニフェストには全量固定価格買い取り制度が盛り込まれていて，結局高い価格で買い取るのだから補助金はいらないという発想です。しかし，いつから買い取りが始まるかもわからないのに補助金だけ切られてしまったら，それまでの空白を乗り切れるのでしょうか。そんなことをしていては，日本は世界の笑い者になるのではないかと危惧しています。

スマートグリッドには大きな反響があり，経産省もトッププライオリティに置いています。日本は停電対策ももう終わっており，住宅も小さいのでかなり省エネが進んでいます。今後は費用対効果を検証しないとなりません。日本のエコカーの最終形が電気自動車かどうかもまだわかりません。仮にすべて電気自動車になったとしても，走行距離の短い日本では省エネ効果は火力発電所 1 機分程度ともいわれています。分散型電源は太陽光発電を入れることになっていて，ここがいま日本でのスマートグリッドの焦点になっています。ここに大きなシステム変更が内蔵されていて，不気味に感じます。スマートグリッドは電気のイメージが強いのですが，もともとエネルギーは電気もあれば熱もガスもあるわけで，トータルで考えるべきです。EU もそう考えています。

サザンカリフォルニアはぎりぎりまで追い込まれた末にスマードグリッドを実践していますが，何度も申し上げたように，スマードグリッドは低炭素社会のインフラです。設備があまりない中で現状をどう乗り越えるか，というテクノロジーです。電力業界がいまいちスマードグリッドに本気になれないのは，スマードグリッドはエネルギー設備が逼迫しているときのテクノロジーであり，実は日本の設備はかなり充実しているため，必要性が実感できないという理由もあるのです。しかし，エネルギー設備に余裕がある日本は，世界的に見ると特殊といえます。設備に余裕がない途上国はもとより，アメリカをはじめとする欧米でもしばしば停電が起こる。スマードグリッドはそういう社会のためのインフラなのです。

特殊事情を持つ日本は，いつか“ガラパゴス”になるのではないか，と私は危惧しています。世界標準化の波の中で，日本のマーケットに成長は期待できません。パソコン市場もモバイル市場も“ガラパゴス”になって世界に負けました。スマードグリッド時代，マニファクチュアの本丸といえる家電やパワーエレクトロニクスに“ガラパゴス”がくるのではないか，と懸念されています。スマードグリッドはアプリケーション的には使用されるのはまだ先ではないかともいわれています。メーターなどはともかく，デマンドレスポンスや電気自動車との調整などはまだ先といわれているのに，なぜ急がなければならないのか。スマードグリッドのテクノロジーはすでに確立されています。これからはどう組み合わせてシステムを作り，ビジネスモデルの特許にしていくかが課題です。アメリカはビジネスモデル特許が比較的簡単に取得できますが，日本はまだまだ厳しい。実験はやったもの勝ちです。アメリカはどんどん国の補助金でやっていますから，日本はこのままでは特許で出遅れてしまうかもしれません。アメリカは驚異的なスピードで標準化を進めています。私が電力会社にぜひお願いしたいのが，「とにかく実証実験だけは協力してほしい」ということです。国内では使わなくてもいいから実験だけは進めてほしいと思います。お時間が来ましたので，ここで終わらせていただきます。ありがとうございました。

# 【平成 21 年度 共同研究等事業実績】

共同研究プロジェクト

プレ共同研究

共同研究

受託研究

# 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)**

| No. | 研究分野 | 大学側共同研究組織 | 共同研究先組織 |
|---|---|---|---|
| 1 | 情報通信 | もの創造系領域　教授　鏡　慎<br>もの創造系領域　准教授　川口　秀樹 | 大企業 |
| 2 | 社会基盤 | くらし環境領域　教授　岸　徳光<br>くらし環境領域　講師　小室　雅人<br>くらし環境領域　講師　栗橋　祐介 | 大企業 |
| 3 | 社会基盤 | くらし環境領域　教授　濱　幸雄<br>くらし環境領域　准教授　菅田　紀之 | 大企業 |

**プレ共同研究**

| No. | 研究分野 | 大学側共同研究組織 | 共同研究先組織 |
|---|---|---|---|
| 1 | フロンティア | もの創造系領域　特任教授　棚次　亘弘<br>もの創造系領域　教授　東野　和幸<br>もの創造系領域　助教　湊　亮二郎<br>もの創造系領域　助教　中田大将良 | 大企業 |
| 2 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域　准教授　植杉　克弘<br>しくみ情報系領域　教授　福田　永 | 中小企業 |
| 3 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域　講師　長船　康裕 | 中小企業 |
| 4 | 社会基盤 | くらし環境系領域　講師　栗橋　祐介<br>くらし環境系領域　教授　岸　徳光 | 中小企業 |

**共同研究**

| No. | 研究分野 | 共同研究代表者所属・氏名 | 共同研究先組織 |
|---|---|---|---|
| 1 | 情報通信 | もの創造系領域 准教授　佐藤　孝紀 | 大企業<br>大企業 |
| 2 | ナノテクノロジー・材料 | くらし環境系領域 特任教授　田畑　昌祥 | 大企業 |
| 3 | ナノテクノロジー・材料 | くらし環境系領域 准教授　田邊　博義 | 中小企業 |
| 4 | 社会基盤 | 地域共同研究開発センター<br>教授　加賀　壽 | 大企業<br>公益法人等 |
| 5 | 製造技術 | もの創造系領域 教授　河合　秀樹 | 大企業 |
| 6 | 製造技術 | もの創造系領域 教授　風間　俊治 | 大企業 |
| 7 | 社会基盤 | しくみ情報系領域 教授　板倉　賢一 | 大企業 |
| 8 | ナノテクノロジー・材料 | くらし環境系領域 准教授　田邉　博義 | 中小企業 |
| 9 | 社会基盤 | もの創造系領域 准教授　戸倉　郁夫 | 中小企業 |
| 10 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 教授　桃野　正 | 大企業 |
| 11 | 社会基盤 | くらし環境系領域 教授　鎌田　紀彦 | 大企業 |
| 12 | ライフサイエンス | くらし環境系領域 准教授　太田　光浩 | 大企業 |
| 13 | 社会基盤 | くらし環境系領域 教授　岸　徳光 | 中小企業 |
| 14 | 社会基盤 | くらし環境系領域 教授　岸　徳光 | 中小企業 |
| 15 | 社会基盤 | くらし環境系領域 教授　岸　徳光 | 中小企業 |
| 16 | 社会基盤 | くらし環境系領域 教授　岸　徳光 | 中小企業 |
| 17 | 社会基盤 | くらし環境系領域 教授　岸　徳光 | 中小企業 |
| 18 | 社会基盤 | くらし環境系領域 教授　岸　徳光 | 中小企業 |
| 19 | 製造技術 | もの創造系領域 助教　長船　康裕 | 中小企業 |
| 20 | 社会基盤 | くらし環境系領域 助教　河内　邦夫 | 中小企業 |
| 21 | 情報通信 | しくみ情報系領域 教授　福田　永 | 中小企業 |
| 22 | 環境 | もの創造系領域 教授　媚山　政良 | 大企業 |
| 23 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 教授　佐藤　忠夫 | 大企業 |
| 24 | 環境 | もの創造系領域 教授　媚山　政良 | 大企業<br>大企業<br>大企業 |
| 25 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 准教授　清水　一道 | 中小企業 |
| 26 | ナノテクノロジー・材料 | 地域共同研究開発センター<br>特任教授　桑野　壽 | 大企業 |
| 27 | 情報通信 | もの創造系領域 准教授　佐藤　信也 | 中小企業 |
| 28 | 情報通信 | もの創造系領域 教授　金木　則明 | 中小企業 |
| 29 | 環境 | もの創造系領域 講師　境　昌宏 | 公益法人等 |
| 30 | 製造技術 | もの創造系領域 教授　世利　修美 | 大企業 |
| 31 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 准教授　清水　一道 | 中小企業 |
| 32 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 教授　香山　晃 | 大企業 |
| 33 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 准教授　駒崎　慎一 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 34 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 准教授　清水　一道 | 大企業 |
| 35 | 社会基盤 | もの創造系領域 教授　鏡　慎 | 大企業 |
| 36 | フロンティア | もの創造系領域 教授　東野　和幸 | 国、地方、その他公益法人等 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 37 | 環境 | もの創造系領域 准教授　佐伯　功 | 大企業 |
| 38 | 情報通信 | もの創造系領域 教授　内藤　督 | 大企業 |
| 39 | 情報通信 | もの創造系領域 教授　長谷川弘治 | 中小企業 |
| 40 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 准教授　清水　一道 | 中小企業 |
| 41 | 社会基盤 | もの創造系領域 教授　土屋　勉 | 中小企業 |
| 42 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 准教授　清水　一道 | 中小企業 |
| 43 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 准教授　駒崎　慎一 | 大企業 |
| 44 | 社会基盤 | くらし環境系領域 教授　岸　徳光 | 大企業 |
| 45 | 社会基盤 | もの創造系領域 准教授　戸倉　郁夫 | 中小企業 |
| 46 | 社会基盤 | くらし環境系領域 教授　濱　幸雄 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 47 | 社会基盤 | くらし環境系領域 教授　岸　徳光 | 大企業 |
| 48 | 製造技術 | もの創造系領域 准教授　戸倉　郁夫 | 中小企業 |
| 49 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 教授　香山　晃 | 中小企業 |
| 50 | 社会基盤 | くらし環境系領域 講師　山田　深 | 中小企業 |
| 51 | 製造技術 | もの創造系領域 講師　境　昌宏 | 大企業 |
| 52 | 情報通信 | しくみ情報系領域 教授　板倉　賢一 | 中小企業 |
| 53 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 准教授　駒崎　慎一 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 54 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 准教授　駒崎　慎一 | 大企業 |
| 55 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 准教授　岸本　弘立 | 国、地方、その他公益法人等<br>国、地方、その他公益法人等 |
| 56 | ナノテクノロジー・材料 | くらし環境系領域 教授　小幡　英二 | 中小企業 |
| 57 | 社会基盤 | くらし環境系領域 教授　岸　徳光 | 中小企業 |
| 58 | 社会基盤 | くらし環境系領域 教授　岸　徳光 | 中小企業 |
| 59 | ライフサイエンス | もの創造系領域 教授　相津　佳永 | 大企業 |
| 60 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 准教授　駒崎　慎一 | 大企業 |
| 61 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 教授　平井　伸治 | 大企業 |
| 62 | 製造技術 | もの創造系領域 教授　東野　和幸 | 大企業 |
| 63 | 社会基盤 | くらし環境系領域 准教授　中津川　誠 | 中小企業 |
| 64 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域准 教授　岸本　弘立 | 国、地方、その他公益法人等<br>国、地方、その他公益法人等<br>国、地方、その他公益法人等<br>国、地方、その他公益法人等<br>国、地方、その他公益法人等<br>国、地方、その他公益法人等 |
| 65 | 製造技術 | もの創造系領域 准教授　清水　一道 | 中小企業 |
| 66 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 准教授　駒崎　慎一 | 国、地方、その他公益法人等<br>国、地方、その他公益法人等 |
| 67 | ナノテクノロジー・材料 | くらし環境系領域 教授　岸　徳光 | 中小企業 |
| 68 | ナノテクノロジー・材料 | くらし環境系領域 教授　岸　徳光 | 中小企業 |
| 69 | ナノテクノロジー・材料 | くらし環境系領域 教授　岸　徳光 | 中小企業 |
| 70 | ナノテクノロジー・材料 | くらし環境系領域 教授　岸　徳光 | 中小企業 |
| 71 | ナノテクノロジー・材料 | くらし環境系領域 教授　鎌田　紀彦 | 大企業 |
| 72 | 製造技術 | もの創造系領域 教授　河合　秀樹 | 中小企業 |
| 73 | 製造技術 | くらし環境系領域 教授　溝口　光男 | 大企業 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 74 | ナノテクノロジー・材料 | くらし環境系領域 特任教授　田畑　昌祥 | 大企業 |
| 75 | 社会基盤 | くらし環境系領域 准教授　菅田　紀之 | 大企業 |
| 76 | 環境 | しくみ情報系領域 教授　岩佐　達郎 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 77 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 教授　香山　晃 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 78 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 教授　平井　伸治 | 大企業 |
| 79 | フロンティア | もの創造系領域 教授　東野　和幸 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 80 | ライフサイエンス | ひと文化系領域 准教授　上村　浩信 | 大企業 |

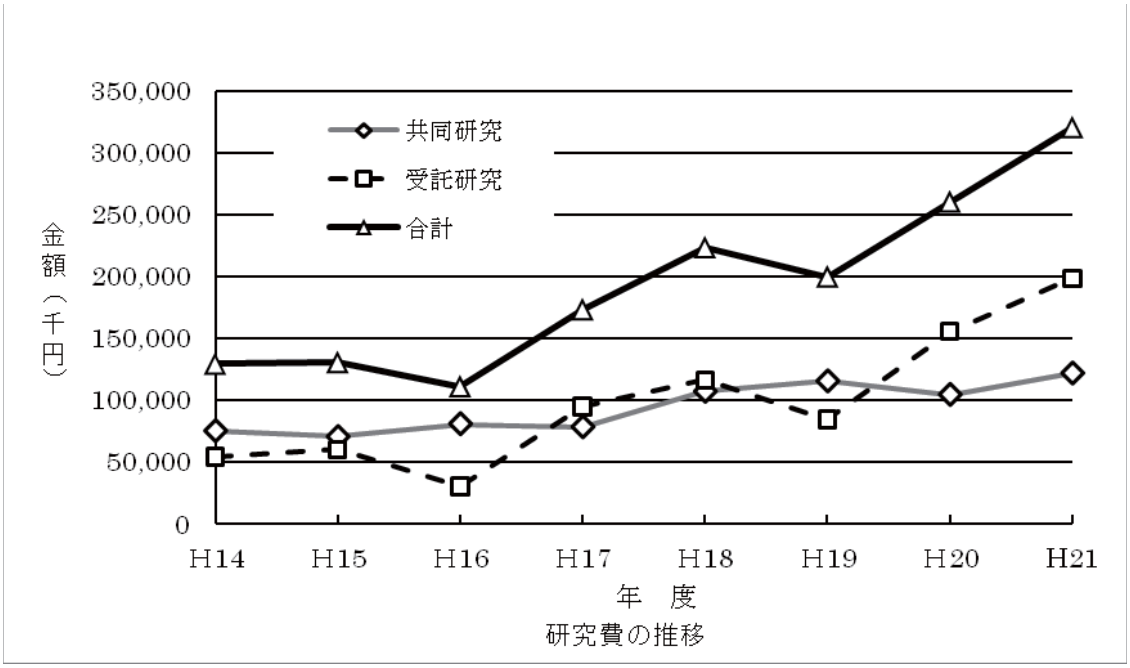
**受託研究**

| No. | 研究分野 | 受託研究代表者所属・氏名 | 受託研究先組織 |
|---|---|---|---|
| 1 | 環境 | しくみ情報系領域 教授　岩佐　達郎 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 2 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 准教授　駒崎　慎一 | 中小企業 |
| 3 | 製造技術 | もの創造系領域 准教授　清水　一道 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 4 | ナノテクノロジー・材料 | しくみ情報系領域 教授　福田　永 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 5 | その他 | 知的財産本部 教授　鈴木　雍宏 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 6 | 製造技術 | もの創造系領域 講師　松本　大樹 | 大企業 |
| 7 | 環境 | もの創造系領域 准教授　清水　一道 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 8 | ナノテクノロジー・材料 | しくみ情報系領域 教授　下山　雄平 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 9 | ライフサイエンス | くらし環境系領域 教授　菊池慎太郎 | 大企業 |
| 10 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 教授　平井　伸治 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 11 | その他 | もの創造系領域 教授　幸野　豊 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 12 | 情報通信 | もの創造系領域 教授　金木　則明 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 13 | その他 | もの創造系領域 准教授　清水　一道 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 14 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 教授　平井　伸治 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 15 | 環境 | くらし環境系領域 講師　吉田　英樹 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 16 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 講師　廣田　光智 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 17 | 情報通信 | もの創造系領域 准教授　佐藤　信也 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 18 | 情報通信 | しくみ情報系領域 教授　沖井　廣宣 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 19 | 環境 | もの創造系領域 特任教授　桑野　壽 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 20 | 情報通信 | しくみ情報系領域 教授　佐賀　聡人 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 21 | 環境 | くらし環境系領域 教授　上道　芳夫 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 22 | 環境 | もの創造系領域 特任教授　杉岡　正敏 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 23 | エネルギー | もの創造系領域 教授　桃野　正 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 24 | エネルギー | もの創造系領域 講師　吹場　活佳 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 25 | ライフサイエンス | くらし環境系領域<br>准教授 チャン・ヨンチョル | 国、地方、その他公益法人等 |
| 26 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 准教授　佐伯　功 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 27 | ライフサイエンス | くらし環境系領域 准教授　大平　勇一 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 28 | ライフサイエンス | しくみ情報系領域 助教　岡田　吉史 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 29 | 社会基盤 | くらし環境系領域 教授　濱　幸雄 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 30 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域准 教授　駒崎　慎一 | 中小企業 |
| 31 | ナノテクノロジー・材料 | くらし環境系領域 特任教授　田畑　昌祥 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 32 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 准教授　澤口　直哉 | 大企業 |
| 33 | 環境 | もの創造系領域 准教授　清水　一道 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 34 | エネルギー | もの創造系領域 准教授　清水　一道 | 中小企業 |
| 35 | その他 | もの創造系領域 教授　髙木　正平 | 国、地方、その他公益法人等 |
| 36 | ナノテクノロジー・材料 | もの創造系領域 教授　桃野　正 | 中小企業 |
| 37 | ライフサイエンス | もの創造系領域 准教授　魚住　超 | 中小企業 |
| 38 | 環境 | もの創造系領域 准教授　清水　一道 | 中小企業 |
| 39 | 製造技術 | もの創造系領域 講師　松本　大樹 | 大企業 |

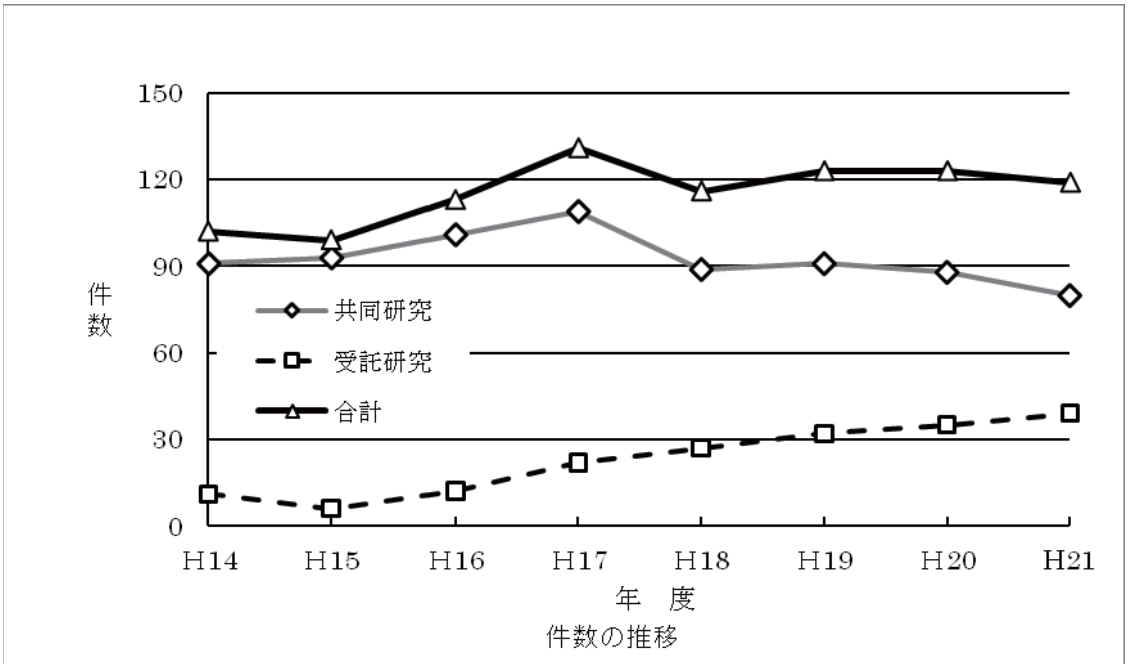
## 「共同研究」及び「受託研究」の件数と研究経費の推移

| 項　目 | 年度 | H14 | H15 | H16 | H17 | H18 | H19 | H20 | H21 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 共同研究 | 件　数 | 91 | 93 | 101 | 109 | 89 | 91 | 88 | 80 |
| | 金　額 | 75,053 | 70,370 | 80,743 | 78,243 | 106,890 | 115,267 | 104,386 | 121,629 |
| 受託研究 | 件　数 | 11 | 6 | 12 | 22 | 27 | 32 | 35 | 39 |
| | 金　額 | 54,140 | 60,178 | 30,255 | 94,902 | 116,319 | 84,313 | 155,676 | 198,381 |
| 合　計 | 件　数 | 102 | 99 | 113 | 131 | 116 | 123 | 123 | 119 |
| | 金　額 | 129,193 | 130,548 | 110,998 | 173,145 | 223,209 | 199,580 | 260,062 | 320,010 |

金額単位：千円



研究費の推移



件数の推移

# 【平成 21 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 セミナー2009-1(シーズ紹介)

題　目：ロケットエンジン用燃焼器技術の紹介と白老エンジン実験場についての現況と展望
もの創造系領域 教授　東野 和幸

日　時：平成 21 年 4 月 21 日(火) 17：00 ～ 18：00
場　所：Ｒ＆Ｂパーク札幌大通サテライト
参加者：16 名

## 2. 研究協力会役員会及び総会

**【議　題】**

１．研究協力会役員の選出について
２．平成 20 度活動状況及び決算について
３．平成 21 年度事業計画(案)について
４．平成 21 年度予算(案)について
５．その他

**【特別講演】**

題　目：ロケットエンジン用燃焼器技術の紹介と白老エンジン実験場についての現況と展望
もの創造系領域 教授　東野　和幸

**【懇親会】**

日　時：平成 21 年 6 月 15 日（月）14:00 ～ 18:30
場　所：ホテルサンルート室蘭
参加者：34 名

## 3. 第 8 回産学官連携推進会議

主　催：内閣府，総務省，文部科学省，経済産業省，日本経済団体連合会，日本学術会議
日　時：平成21年6月20日（土）9:00 ～ 18:30 ～ 21日（日）9:00 ～ 12:30
場　所：国立京都国際会館
参加者：4,500 名

## 4. 事業推進検討会

**【議　題】**

１．平成 20 年度ＣＲＤセンター事業について
２．平成 21 年度ＣＲＤセンター事業について
３．その他

日　時：平成 21 年 7 月 3 日（金）15:00 ～ 17:00
場　所：室蘭工業大学 事務局中会議室
参加者：23 名

## 5. 第 1 回 MOT(技術経営)実践講座

題　目：事例に学ぶ中小企業の技術革新
㈱菅製作所 代表取締役　菅　　育正

主　催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター
日　時：平成21年7月7日（火）14:35 ～ 16:05
場　所：室蘭工業大学 N306
参加者：73 名(社会人 21 名)

## 6. 西いぶりの企業力 2009(出展･ＰＲ)

**【講演会】**

題目Ⅰ：省エネ住宅に関するフォーラム

ＮＰＯ法人 北の民家の会会長(元北海道副知事)　磯田　憲一

題目Ⅱ：人と地域の可能性を信じよう　～ 夢があれば何でもできる ～

(株)植松電機 専務取締役(株)カムイスペースワーク 代表取締役　植松　　努

パネリスト　興和工業(株) 代表取締役　鈴木　高士

(株)上田商会　脇田　健介

日本工学院北海道専門学校 情報処理科 教師　小川　昌宏

日本工学院 北海道専門学校　在　校　生

コーディネーター　北海道中小企業家同友会 西胆振支部 支部長　牧野　康則

主　催：北海道中小企業家同友会西胆振支部
協　賛：室蘭信用金庫，北洋銀行，北海道銀行
協　力：日本工学院北海道専門学校，室蘭まちづくり放送(ＦＭびゅー)，伊達信用金庫
後　援：北海道胆振支庁，登別市，室蘭市，伊達市，室蘭工業大学地域共同研究開発センター
(財)室蘭テクノセンター，室蘭民報社，北海道新聞室蘭支社，その他
日　時：平成21年7月11日（土）13:00 ～ 17:00，12日（日）9:30 ～ 16:00
場　所：日本工学院北海道専門学校
参加者：650 名

**7. 第 2 回 MOT(技術経営)実践講座**

題　目：自動車部品の開発から製造過程について

大豊工業(株) 顧問(元副社長)　福田　　孝

主　催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター
日　時：平成21年7月14日（火）14:35 ～ 16:05
場　所：室蘭工業大学 N306
参加者：70 名(社会人 23 名)

**8. 平成 20 年度プレ共同研究成果報告会**

テーマⅠ：天然素材分離プロセスの技術開発

くらし環境系領域 准教授　大平　　勇

エコクリーン㈱ 代表取締役社長　木下　　修

㈱小川アドバンテック複合技術研究所 社長　小川　和幸

テーマⅡ：太陽電池用ポリシリコンの製造と精製法の研究

もの創造系領域 教授　世利　修美

丸大和光㈱ 開発部 部長　小蓄　邦敏

主　催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター
日　時：平成21年7月21日（火）9:00 ～ 12:00
場　所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 産学交流室

**9. 第 3 回 MOT(技術経営)実践講座**

題　目：ものづくり現場での生産管理

北海道立工業試験場 製品技術部 主任研究員　飯田　憲一

主　催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター
日　時：平成21年7月21日（火）14:35 ～ 16:05
場　所：室蘭工業大学 N306
参加者：70 名(社会人 4 名)

**10. 平成 20 年度プレ共同研究成果報告会**

テーマ：表面改質剤を利用した高耐久性コンクリートの開発

くらし環境系領域 助教　新　　大軌

くらし環境系領域 教授　濱　　幸雄

㈱アール・アンド・イー 技術部 次長　高橋　　勝

主　催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター
日　時：平成21年7月22日（水）9:30 ～ 10:30
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

### 11. 第4回 MOT(技術経営)実践講座

題　目：新事業創出に技術陣がどのように機能し，経営に参画しているのか
帝人(株) 顧問(帝人グループ常務執行役員)　佐藤　修一

主　催：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター
日　時：平成21年7月28日（火）14:35 ～ 16:05
場　所：室蘭工業大学 N306
参加者：60名(社会人 16名)

### 12. 小樽地域企業視察訪問(異業種交流・意見交換会及び企業見学)

日　時：平成21年8月20日（木）
場　所：北海道バネ(株)，(株)光合金製作所，北海道ワイン(株)
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
参加者：18名

### 13. ものづくりテクノフェア2009(出展・ＰＲ)

主　催：北洋銀行
後　援：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，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，(社)発明協会北海道支部
(財)北海道中小企業総合支援センター，(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
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，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
日　時：平成21年8月21日（金）10:00 ～ 17:00
場　所：札幌コンベンションセンター
参加者：3,000名

### 14. 第1回北海道医療産業研究会

議　題：地域医療産業会が期待する医工連携について

日　時：平成21年8月24日（月）15:00 ～ 17:00
場　所：小樽商科大学 札幌サテライト
参加者：12名(産業界5社7名)

### 15. 室蘭工業大学／日鋼記念病院 医工交流会(シーズ紹介)

題目Ⅰ：医療における感性工学
もの創造系領域 准教授　魚住　　超

題目Ⅱ：光学画像と経皮的医用計測
もの創造系領域 教授　相津　佳永

日　時：平成21年8月26日（水）14:30 ～ 16:00
場　所：日鋼記念病院
参加者：80名

## 16. イノベーション・ジャパン 2009(出展・ＰＲ)

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，日経ＢＰ社
日　時：平成 21 年 9 月 16 日（火）～18 日（木）10:00 ～ 18:00
場　所：東京国際フォーラム
参加者：42,000 名

## 17. 産学官連携支援会議及び大学ニーズ発信支援(シーズ紹介)

題　目：フルードパワーとトライボロジーに関する研究紹介
もの創造系領域・ものづくり基盤センター長 教授　風間　俊治

日　時：平成 21 年 10 月 1 日（木）15:00 ～ 17:00
場　所：Ｒ＆Ｂパーク札幌大通サテライト
参加者：35 名

## 18. 室蘭地域ものづくり展示会(出展･ＰＲ)

テーマ：～「ものづくりのマチ」100 年の歴史と伝統 ～

出展企業者：新日本製鐵(株) 室蘭製鉄所，(株)日本製鋼所 室蘭製作所，(株)アイスジャパン
アオキ製作(株)，(株)永澤機械，(株)西野製作所，(株)三好製作所
室蘭電子機械交流会:アイクス(株)，(株)キメラ，テック・室蘭(株)
ニッテツ北海道制御システム(株)，ファクター(株)
室蘭パルス電子(株)，(株)大和電気北海道
浪越石材(株)，ノールドデザイン，てつのまちぷろじぇくとボルタ工房
(株)カネサン佐藤水産，(有)マルヤマシメ本間水産，(株)室蘭うずら園
(有)望月製麺所，室蘭工業大学地域共同研究開発センター
主　催：(財)室蘭テクノセンター
後　援：室蘭市・登別市・伊達市・北海道地域産業技術連携推進会議
日　時：平成 21 年 10 月 27 日（火）～ 28 日（水）10:00 ～ 16:00
場　所：室蘭市民会館
参加者：1,000 名

## 19. 高度技術研修(東京会場)

テーマ：冷凍・空調熱交換器および配管
題目Ⅰ：冷凍・空調用産業水処理およびブラインの歴史と必要性
ショーワ(株) 会長　水谷　増美

題目Ⅱ：腐食に関する基礎知識
客員教授(ショーワ(株) 技術開発センター長)　山田　　豊

題目Ⅲ：銅およびアルミニウムの耐食性
もの創造系領域 講師　境　　昌宏

題目Ⅳ：空調用熱交換器銅コイルの腐食事例の解析 ― ファインコイルユニット用伝熱管 ―
(株)竹中工務店 技術研究所 部長付　山手　利博

題目Ⅴ：冷凍・空調用配管の腐食事例と対策
新菱冷熱工業(株) 中央研究所主査　松川　安樹

題目Ⅵ：冷凍・空調用銅管の腐食事例と対策材の開発
住友軽金属工業(株) 研究開発センター 主任研究員　河野　浩三

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
日　時：平成 21 年 11 月 6 日（金）13:00 ～ 17:30

場　所：青山オーバルビル(東京都)
対　象：民間機関等の技術者及び研究者
参加者：58 名

### 20. ビジネス EXPO「第 23 回 北海道 技術・ビジネス交流会」(出展・ＰＲ)

主　催：北海道 技術・ビジネス交流会実行委員会
日　時：平成 21 年 11 月 12 日（木）～ 13 日（金）10:00 ～ 17:00
場　所：アクセスサッポロ
参加者：19,011 名

### 21. 第 1 回 CRD セミナー(シーズ紹介)

題目Ⅰ：「心の豊かさ」時代に応えるものづくりを目指して
ひと文化系領域・情報メディア教育センター長 教授　刀川　　眞

題目Ⅱ：消費者行動研究に基づく提供サービスの適正評価
－ 消費者の視点による定量的・客観的評価 －
くらし環境系領域 講師　市村　恒士

主　催：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
日　時：平成 21 年 11 月 20 日（金）15:00 ～ 17:00
場　所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 産学交流室
参加者：17 名

### 22. 第 22 回大学・企業技術交流会／フロンテア技術検討会
### ～ 地球温暖化対策人材養成セミナー ～

テーマ：世界と地域から地球環境への取り組みを考える
題目Ⅰ：室蘭地域における水素社会形成の可能性
くらし環境系領域 教授　田村　　亨

題目Ⅱ：ＬＣＡコンサルティングトップセミナー　― ＬＣＡの発展可能性 ―
(社)産業環境管理協会 製品環境情報事業センター 所長　壁谷　武久

題目Ⅲ：中小企業の省エネ実践セミナー
(財)室蘭テクノセンター ビジネスコーディネーター　安澤　典男

演　題：オバマ大統領のグリーン・ニューディール政策から日本を考える
エネルギー戦略研究所(株) 取締役研究所長　山家　公雄

**【産･学･官交流会】**

主　催：室蘭地域産学官連携事業実行委員会
委員会構成
室蘭工業大学 地域共同研究開発センター
室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 研究協力会，(財)室蘭テクノセンター
後　援：北海道胆振支庁，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

日　時：平成 21 年 12 月 2 日（水）13:00 ～ 18:00
場　所：中島神社「蓬峠殿」
参加者：90 名

### 23. 第 2 回北海道医療産業研究会

議　題：技術情報交換
日　時：平成21年12月3日（木）15:00 ～ 17:00

場　所：小樽商科大学 札幌サテライト
参加者：11 名

**24. 第 2 回 CRD セミナー(シーズ紹介)**

題目Ⅰ：ラフ集合によるデータ分析
しくみ情報系領域 助教　工藤　康生

題目Ⅱ：サスティナビリティと建築デザイン
くらし環境系領域 講師　山田　　深

題目Ⅲ：内容光ファイバによる構造物歪み計測
もの創造系領域 准教授　佐藤　信也

主　催：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
日　時：平成 22 年 1 月 20 日（水）14:00 ～ 17:00
場　所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 産学交流室
参加者：18 名

**25. 北海道医療産業研究会・北海道光科学技術研究会 合同セミナー**

テーマ：医療とものづくりの融合
題目Ⅰ：医療における光テクノロジの応用― 光線力学的ガン診断・治療の先端研究 ―
千歳科学技術大学バイオ・マテリアル学科 准教授　李　　黎明

題目Ⅱ：神経科学的知見に基づく新しいリハビリテーション介入と産学連携への展望
札幌医科大学 保健医療学部理学療法学科 准教授　金子　文成

共　催：北海道光科学技術研究会　北海道医療産業研究会
日　時：平成 22 年 1 月 27 日（水）15:30 ～ 17:30
場　所：北海道大学創成研究機構 5F 大会議室(札幌市北区北 21 条西 10 丁目)
参加者：40 名

**26. 高度技術研修(札幌会場)**

テーマ：冷凍・空調熱交換器および配管
題目Ⅰ：冷凍・空調用産業水処理およびブラインの歴史と必要性
ショーワ(株) 会長　水谷　増美

題目Ⅱ：腐食に関する基礎知識
客員教授(ショーワ(株) 技術開発センター長)　山田　　豊

題目Ⅲ：銅およびアルミニウムの耐食性
もの創造系領域 講師　境　　昌宏

題目Ⅳ：家庭用セントラルヒーティングシステムの耐久性向上について
北海道ガス(株) 技術開発研究所 技術開発グループ　飯野　愉朋

題目Ⅴ：空調用熱交換器銅コイルの腐食事例の解析 ― ファインコイルユニット用伝熱管 ―
(株)竹中工務店 技術研究所 部長付　山手　利博

題目Ⅵ：マウンドレス型孔食用薄膜 Sn めっき銅管の開発
住友軽金属工業(株) 研究開発センター 主任研究員　鈴木　　忍

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
日　時：平成 22 年 2 月 19 日（金）13:00 ～ 17:30
場　所：北海道ガス(株)
対　象：民間機関等の技術者及び研究者

参加者：70 名

### 27. 第 3 回 CRD セミナー(シーズ紹介)

題　目：コンクリートの乾燥収縮に及ぼす細骨材の影響

客員教授(住友金属鉱山シポレックス(株) 技術部長)　柴田　純夫

主　催：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
日　時：平成 22 年 2 月 26 日（水）11:00 ～ 12:00
場　所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 産学交流室
参加者：45 名

### 28. 道内電気計装エンジニアリング研修会

研究テーマ紹介

もの創造系領域 准教授　花鳥　直彦

地域共同研究開発センターの招介

地域共同研究開発センター長 教授　加賀　　壽

課題の共有化　ＩＴ活用事例

ニッテツ北海道制御システム㈱　小名，高木

【見学会】ニッテツ北海道制御システム㈱ 社内

【懇親会】

日　時：平成 22 年 3 月 5 日（金）13:00 ～ 19:30
場　所：ニッテツ北海道制御システム㈱　3 階大会議室
参加者：35 名

### 29. 平成 21 年度 北海道医療産業研究会 第 2 回セミナー

テーマ：～ 医療関連産業への進出のポイントを探る ～
題目Ⅰ：バイオマテリアルの機能と役割 ― 吸収性生体模倣材料の創成と骨再生工学 ―

北海道立工業試験場 材料技術部 材料科学科 科長　赤澤　敏之

題目Ⅱ：医療機器産業へのアプローチ ― Ｐ＆Ｍの取組み ―

(株)ピー アンド エム 取締役　山口　隆義

**【交流会】**

主　催：北海道医療産業研究会，北海道
日　時：平成 22 年 3 月 8 日（月）15:30 ～ 18:00
場　所：KKR ホテル札幌
参加者：42 名

### 30. 第 4 回 CRD セミナー(シーズ紹介)

テーマ：アラミド繊維製（ＡＦＲＰ）板を用いた河川橋脚水中耐震補強工法の開発
題目Ⅰ：水中硬化型接着樹脂を用いたＡＦＲＰ板の水中接着補強工法に関する施工法の検討

くらし環境系領域 講師　栗橋　祐介

題目Ⅱ：水中硬化型接着樹脂を用いたＡＦＲＰ板の
水中接着補強工法を適用したＲＣ梁の静載荷実験

客員教授(三井住友建設(株) 技術開発センター 主席研究員)　三上　　浩

主　催：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
日　時：平成 22 年 3 月 10 日（水）10:30 ～ 12:00
場　所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 産学交流室

参加者：34 名

### 31. 第 5 回 CRD セミナー（シーズ紹介）

題　目：アスファルト舗装再生を目的とした楕円断面マイクロ波加熱空胴

もの創造系領域 教授　鏡　　慎
もの創造系領域 准教授　川口　秀樹

主　催：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
日　時：平成 22 年 3 月 17 日（水）14:00 ～ 15:00
場　所：室蘭工業大学 地域共同研究開発センター 産学交流室
参加者：18 名

### 32. 地域間交流事業（シーズ紹介）

題目Ⅰ：「心の豊かさ」時代に応えるものづくりを目指して

ひと文化系領域・情報メディア教育センター長 教授　刀川　　眞

題目Ⅱ：消費者行動研究に基づく提供サービスの適正評価
　　－ 消費者の視点による定量的・客観的評価 －

くらし環境系領域 講師　市村　恒士

**【懇親会】**

主　催：一般社団法人 北海道中小企業家同友会 苫小牧支部 友知会
日　時：平成 22 年 3 月 26 日（金）16:00 ～ 20:30
場　所：アイビープラザ（苫小牧市本町 1 丁目６－１）
参加者：35 名

### 33. 定期刊行物

1. 研究報告 №20
2. センターニュース №22

### 34. ピロティでの展示

1. ピロティでの研究者シーズ紹介ポスター展示（12 テーマ／月）
2. ピロティでの新聞記事紹介（随時）

### 35. 大学発メールマガジン

北海道広域 TLO 通信（毎月）

**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
ＴＥＬ (0143)46－5860
ＦＡＸ (0143)46－5879