

三井 造船 技報

平成 24 年 10 月 第 207 号

MITSUI ZOSEN TECHNICAL REVIEW No. 207 2012



水分自動制御型高效率脱水機 “スマートプレス”



表紙説明

水分自動制御型高効率脱水機 “スマートプレス”

汚泥再生処理施設は、三井造船環境エンジニアリングの主力製品の一つであり、“スマートプレス”はこの汚泥再生処理施設などでの使用が期待されるスクリーブレス型脱水機である。“スマートプレス”には、脱水後の汚泥含水率を当社が開発した水分計で連続的に直接測定する機能がある。測定した含水率をもとに行うフィードバック制御により、従来困難であった脱水汚泥の含水率を安定して目標値に制御することが可能となった。“スマートプレス”の特長は、含水率制御の設定値、含水率演算のパラメータ、脱水機の回転数制御範囲などを入力するだけのパネル操作で容易に運転できることである。

当社は、これからも当社が保有する環境技術をもとに、環境リサイクルビジネスで社会貢献を目指す。

“スマートプレス”本体

水分センサ

水分センサ取付状況

制御盤

モニタ画面

Cover

"Smart Press", High Efficiency Automatic Moisture Content Control Dehydrator

The sludge resource recycling plant is one of the main products of Mitsui Zosen Environment Engineering Corporation. "Smart Press" is the screw press type dehydrator. It is expected to be used in sludge resource recycling plants etc. "Smart Press" can measure moisture content of dehydrated sludge instantly and continually using our original moisture meter. Up to now, it was very difficult to control moisture content of dehydrated sludge to a target value stably. "Smart Press" technology can solve this problem by a feedback control using measured moisture content. The feature of "Smart Press" is its easy operation. Necessary work is only inputting a few factors on control panel, set value of moisture content, parameter of moisture content calculation and control scope of dehydrator rotational frequency.

We continue to contribute to society by environmental recycling business based on our environmental technology.

"Smart Press"

Moisture Sensor

Moisture Sensor at outlet of "Smart Press"

Control Panel

Monitoring Display

三井造船技報

2012年(平成24年)10月・第207号

目次

技術論文・報告

緩速式電気透析システムによる 高濃度スラリーからのイオン除去性能評価	1
濱本 修 久芳 良則 杉山 洋一 杉浦 公昭 瀬野比呂司	
プラズマ強度分布制御型高圧プラズマ源の開発	7
中島 義晴 星島 一輝 木村 憲明 土井 恭二 弓井 考佳	
ハイドレート技術によるCO ₂ 分離回収の実験的検討	13
櫻井聡一郎 宮川 満 松尾 和芳 加藤 寿仁	

製品・技術ニュース

マレーシアでバイオエタノール製造の実証試験を実施 - アブラヤシの空果房(EFB)を原料とした世界初のプラントで実証 -	20
水分自動制御型高効率脱水機“スマートプレス” - 自動制御により安定した低含水率処理を実現 -	21
新型模型船 NC 削成システムの導入 - 模型船製作工程を大幅に短縮化 -	22
新鋭曳船 相次いで竣工 - 日本海曳船株式会社向け“萬代丸”, “なえば丸” -	23
尾道系崎港 港湾修築工事 - 尾道系崎港松浜ジャケットの製作 -	24
みなと振興 第2021-0-004号 福良港 浮棧橋製作工事 - 福良港浮棧橋(津波対応型)の製作・進水・曳航 -	25
ロングライン・マッチキャスト工法によるPC桁の製作 - 東北縦貫線 -	26
新型交通信号用非常用電源装置を開発・納入 - 全国初のハイブリッド方式 -	28

Home Page News

大分事業所でメガソーラー(大規模太陽光発電施設)を建設 - 三井不動産と共同で売電事業を開始 -	29
---	----

MITSUI ZOSEN TECHNICAL REVIEW

No. 207 OCTOBER 2012

CONTENTS

Technical Paper and Report

Slow Flow Electrodialysis Systems	1
<i>Osamu HAMAMOTO, Yoshinori KUBA, Yōichi SUGIYAMA,</i> <i>Kimiaki SUGIURA, Hiroshi SENO</i>	
High Pressure Plasma Source of Plasma Intensity Distribution Control	7
<i>Yoshiharu NAKASHIMA, Kazuteru HOSHISHIMA, Noriaki KIMURA,</i> <i>Kyouji DOI, Takayoshi YUMII</i>	
Experimental Examination of CO ₂ Separation by Hydrate Technology	13
<i>Soichiro SAKURAI, Mitsuru MIYAGAWA, Kazuyoshi MATSUO, Toshihito KATO</i>	
Products and Technology News	20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28
Home Page News	29

緩速式電気透析システムによる 高濃度スラリーからのイオン除去性能評価

濱本 修* 久芳 良則* 杉山 洋一*
杉浦 公昭* 瀬野 比呂司*

Slow Flow Electrodialysis Systems

Osamu HAMAMOTO, Yoshinori KUBA, Yōichi SUGIYAMA, Kimiaki SUGIURA, Hiroshi SENO

In this paper, we report that we have developed a light-weight monoblock electro dialysis cell stack which can desalinate even suspensions or emulsions, and have confirmed the application of this monoblock electro dialysis system to suspensions and emulsions of high viscosity, to which the application was considered so far very difficult. The cell stack, of which frame body is made of foamed plastic, has electrodes and membranes inside. Production cost for such monoblock stack is expected to be less expensive.

The application of this system will make it easy to use digestion liquid from a biogas plant as the nutrients for greenhouse cultivation or drip irrigation by desalination of the liquid. Furthermore, liquid fertilizer containing less potassium can also be made from concentrated shochu residue containing potassium in high concentration, in addition to a fodder with lowered content of potassium.

有機性廃棄物のリサイクルプロセスの改善を目的として、懸濁液や乳濁液の脱塩に利用できる軽量一体化した緩速式電気透析槽を開発し、適用性を確認した。構造は発泡樹脂を枠体とし、これに電極や隔膜を内蔵させた。これにより透析槽の製作費削減が期待できる。本報では、この試作機を用いて、これまで処理が困難とされていた懸濁液や高粘性流体に対する緩速式電気透析システムの適用性を確認したので報告する。

具体的応用としては、例えば、バイオガス消化液の脱塩に本システムを適用すると、塩濃度を容易に低減でき、温室栽培や点滴栽培用の養液として利用しやすくなる。また、高濃度にカリウムを含有する焼酎粕濃縮液からは、カリウム含有量を低減した飼料に加え、カリウム系液肥も製造することができる。

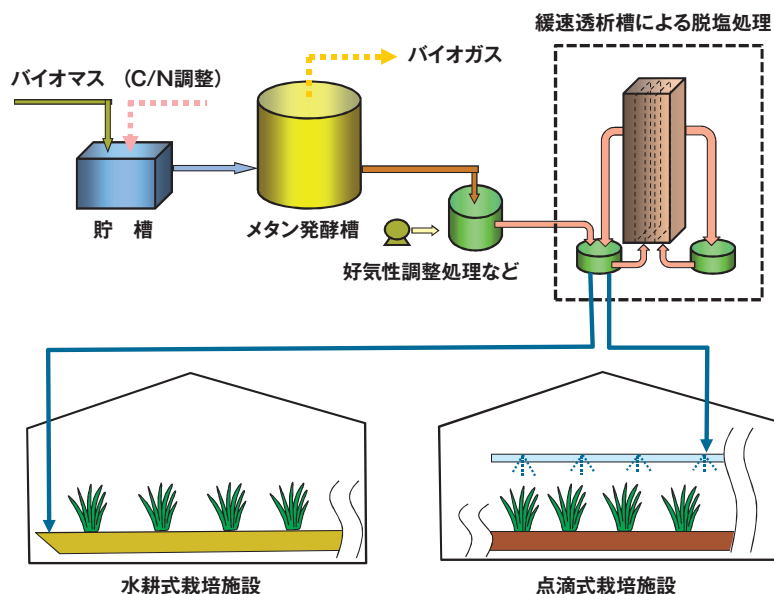


図1 脱塩処理メタン発酵消化液の栽培溶液利用の概念図

Conceptual Image of Aquaculture System Utilizing Desalinated Digested Liquid from Biogas Plant

* エンジニアリング事業本部事業開発部

1. 緒言

メタン発酵残渣(メタン発酵消化液), アルコール発酵残渣(焼酎粕等), その他いくつかの食品加工プロセスから発生する廃液などの高粘性スラリー状残渣は, その高い塩濃度が障壁となってリサイクルできずに廃棄せざるを得ない場合が少なくなかった。しかし, リサイクル技術の進歩と環境意識の高まりによって, このような高粘性スラリーについてもリサイクルのための技術開発やシステム構築が強く求められている。

三井造船は, 発泡樹脂を枠体とした, レドックス・フロー型二次電池¹⁾用の軽量な一体型の電気透析槽を開発した経験²⁾を有する。レドックス・フロー電池は, イオンの酸化還元反応を溶液のポンプ循環により進行させる二次電池である。この経験を活かし, 塩濃度の高い高粘性スラリーに適用できる流通型の電気透析槽を試作し, 実液を用いてその脱塩特性を評価した。

この電気透析試験の実施にあたっては, 小型単位セルを使用した試験結果に基づいてスケールアップしたセルスタックを用いた。試験の結果, 本緩速式電気透析システムは, 高粘度スラリーを容易に循環させることが可能で, スラリー中に含まれる高濃度のイオンも除去可能であることが確認でき, 本システムは, 有機性廃棄物のリサイクルのための有望な処理技術になると考えられる。

2. 脱塩処理の現状

塩類を比較的高濃度に含むスラリーをリサイクルしようとする場合, 効率の良い脱塩処理の導入が, 実用的なリサイクルプロセスのキーポイントになる。

スラリー中の懸濁物, 乳濁物がほとんど除去され, 十分な流動性を有する液に対する脱塩処理³⁾は, 既に逆浸透法や電気透析法によって多くの実績がある。しかし, 高粘性スラリーからは懸濁物や乳濁物の除去が困難なため, それらに対する脱塩処理は, ごく限られた対象にのみ適用されている。例えば, 一部の食品加工においては, フィルタープレス型の電気透析槽を用い回分式で手間をかけて脱塩処理が行なわれている。

また, イオン交換樹脂によって塩類を吸着除去する方法も行われているが, 吸着後の樹脂再生処理に多くのコストが発生するなどの問題を抱えている。

したがって, 塩濃度が高い高粘性スラリーの脱塩処理が低コストで行えるならば, リサイクルできる廃棄物の範囲は格段に拡大する。期待できる応用例として, 生ごみ系メタン発

酵消化液の農地還元利用⁴⁾(図1)や, 一部焼酎粕からのカリウム回収プロセス(図2)などが挙げられる。メタン発酵消化液が低コストで脱塩できれば, 養液栽培施設などにも液肥として利用できるため, 再生可能エネルギーとしてバイオガスコージェネレーションを普及させる際の有望な手段になると考えられる。

また, 芋や黒糖を原料とする焼酎粕には, カリウム⁵⁾が比較的高い濃度で含有されているものが多い。焼酎粕を飼料化する場合, 日本飼養標準で飼料中カリウムの摂取許容限界が乾物中3 wt%とされているため, 過剰なカリウムを低コストで分離することが必須になる。さらに, 豚糞尿中の亜鉛の除去にも対応が要求される。これは, 養豚業における豚への給餌に際し, 飼料に亜鉛を添加する場合があり, 豚糞尿をそのまま農地還元すると農地の亜鉛汚染が懸念されるためである。

3. 緩速式電気透析槽の特長

従来の液流通型の電気透析槽は, 透析槽内における被処理液の線速度を上げ, 十分な物質移動性を確保することによって, 大きな電流密度でも十分な電流効率が維持できるように設計されている。例えばかん水の脱塩処理では, 電気透析槽内における被処理液の見かけの線速度を $30 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ とすることにより, 電流密度が $100 \text{ A} \cdot \text{dm}^{-2}$ 程度の条件においても電流効率が50%を十分に超えるような脱塩を実現している。

しかし, 粘度が $0.2 \sim 0.3 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 程度の被処理液になると, 透析槽内で大きな線速度を確保することが難しくなり, その結果として電流密度を著しく小さくせざるを得ない。低電流密度での電気透析では, 処理量を増加させるために必然的に膜面積ひいては透析槽(セルスタック)そのものが大きくなっていく。

このような電気透析槽を実用化するには, 大型化するセルスタックの製造コストを抑制する工夫や, イオンの泳動による分離を確実にを行うために滞留時間を十分に確保する工夫などが必要になってくる。

当社は, 大電力貯蔵用(負荷平準化用)の二次電池として, 鉄・クロム系及び臭素・クロム系の電解液を電池活物質とするレドックス・フロー型二次電池の軽量化・低コスト化を検討した経験を有する。その際, 電解槽枠体, 電極, 隔膜(イオン交換膜)を一体化して製作する, 直列積層構造のセルスタックを試作した²⁾。この経験に基づき, 高粘性スラリーにも適用できる, 緩速式電気透析槽(見かけの線速度が, 例えば $0.1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 程度)にこの一体化構造を採用し, 高粘性スラリー廃液を用いて実用性を検討した。その結果, このようない体型のセルスタックにより, 低電流密度での電気透析を実現できる可能性が得られた。

緩速式の電気透析槽では, 槽内の圧力も小さく維持できるため, 従来は強度上用いることができなかった軽量な構造材料を使用することができ, 大きなコスト削減効果がみられた。従来の流通型電解槽のセルスタック例を写真1に, また一体化したセルスタック例を写真2に示す。一体化したセルスタックでは, 単セルの各構成要素を融着あるいは接着するため, 押え板等を用いてセルスタックを固定する必要がない。そのため, 軽量で取り扱いやすいものにすることができる。この

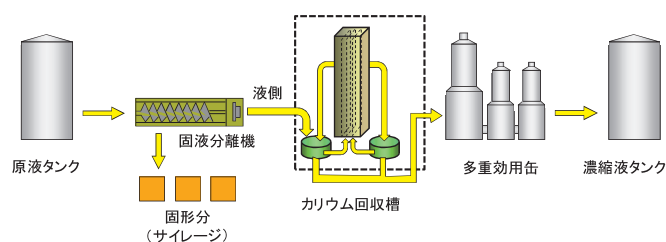


図2 焼酎粕(芋、黒糖)中のカリウム濃度低減回収プロセス例
Reduction and Recovery Process of Potassium from Shochu Distillation Residue from Sweet Potato or Brown Cane Sugar

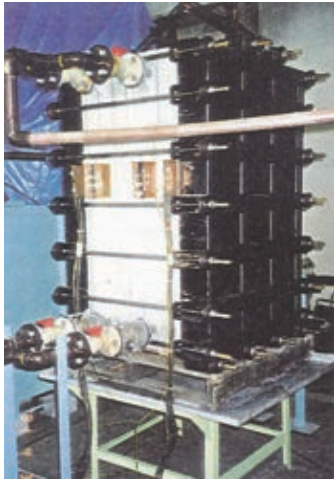


写真1 流通型電解槽セルスタック
(当社製レドックスフロー型電池)
Flow-through Type Electrolytic Cell Stack
(Flow Type Cell Stack of MES Redox Flow Battery)



写真2 一体化した発泡ポリプロピレン製セルスタック
Monoblock Cell Stack Made of Polypropylene Foam

ような一体化電気透析槽の構成例として、イオン交換膜を用いた場合を図3に示す。これは従来の電気透析槽と基本的には同じ構成であり、電極や隔膜を発泡樹脂枠に固定して一体化することにより、軽量、コンパクトな電気透析槽となる。

一方、イオン交換膜に替えて、MF膜などの微多孔性の膜を用いた場合の電気透析槽の構成例を図4に示す。微多孔性の膜はイオン透過選択性がなく、脱離液側に目的のイオンを透過させて濃縮するためには、単セルごとを複極仕切板(バイポーラプレート)で仕切る必要がある。この点が、図3のイオン交換膜を使用する電気透析槽と異なる。この複極仕切板は、いわゆるカーボンプラスチックシート(炭素材の添加によって導電性を持たせた樹脂板)であり、低製造コストを実現する一体型電解槽の構成要素の一つになっている。

緩速式で連続処理する電気透析法は、高粘性スラリーの脱塩などに適した方法であり、流動性が更に乏しくなっても、塑性変形性を示す物質であれば、シリンダーポンプ等を用い

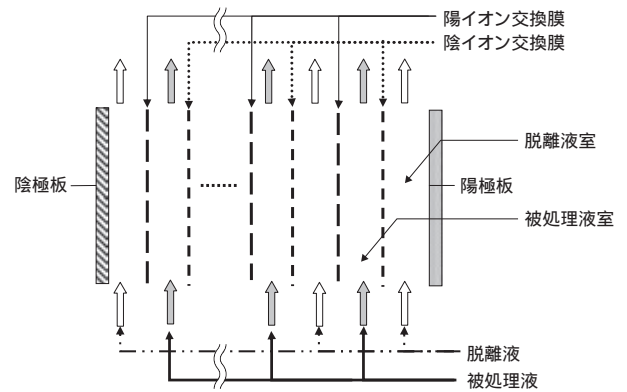


図3 イオン交換膜をセパレータとする電気透析槽概念図
Conceptual Structure of Electrodialyzer of Filter Press Type Using Ion Exchange Membranes as Separator

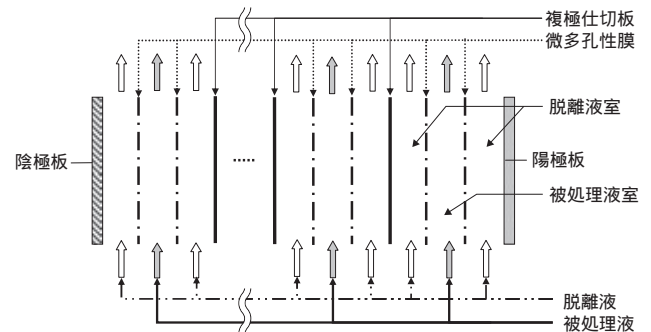


図4 微多孔性膜をセパレータとする電気透析槽概念図
Conceptual Structure of Electrodialyzer of Filter Press Type Using Micro-porous Membranes as Separator

て強制的に透析槽に送ることで、適用可能と考えられる。また、流速の制御によりセル内圧の調整が可能のため、セル間の液移動を小さく押えることができ、イオン交換膜のほかに、安価な微多孔性の膜も用いることが可能である。

緩速式の電気透析槽は、次のような特長を持っている。懸濁性、乳濁性のスラリーに対しても、連続処理が可能である。

高粘性の流体に対しても、小さな圧力でセル内を流通させることが可能である。

軽量、コンパクトでありカーボンプラスチックシートの使用と相まって、製造コストの大幅削減が可能となる。

セル内での流速を制御することによって、セル間の圧力調整を行い、隔膜を通しての液移動を抑制することが可能である。

4. 電気透析試験

今回の電気透析試験に供試した実液を表1に、また各実液の性状を表2に示す。これらは、いずれもセル内で線速度が上げにくく、十分な物質移動性を確保できない高粘度スラリーであり、それぞれについて脱塩特性を測定した。

4.1 試験に用いた透析槽

今回の脱塩試験、重金属除去試験に用いた槽は基礎試験用

表1 緩速電気透析処理の適用例
Examples of Practical Application
of Slow Flow Type Electrodialysis

処理対象	目的と用途
生ごみ系 メタン発酵消化液	脱塩(食塩の低濃度化)による 温室等への養液利用
生ごみペースト	脱塩(食塩の低濃度化)による 食塩低含有堆肥の製造等
黒糖焼酎粕濃縮液	脱塩(カリウム低濃度化/回収)に よる濃縮液飼料化と液肥の製造
梅発酵残液	脱塩(食塩の除去)による飼料, あるいは食品添加物等の製造
豚糞尿	重金属除去(亜鉛の除去)による 堆肥等の製造

表2 各実液の性状
Properties of Liquids to be Treated

項目 (単位)	生ごみ系 メタン 発酵 消化液	生ごみ ペースト	黒糖 焼酎粕 濃縮液	梅発酵 残液	豚糞尿	分析方法
固形分濃度 (wt%)	6.5	24.1	35.4	27.0	2.1	107 乾燥秤量法
粘度 (20℃, Pa·s)	850	6500	3800	400	1300	振動板型 粘度計法
粒径 (直径, μm)	0.5 ~ 50	1 ~ 500	ゾル状	ゾル状	1 ~ 100	篩分別 拡大鏡観察法
pH ()	7.5	5.5	3.6	3.5	8.5	JIS K0102.12.1
導電率 (S/cm)	0.093	0.049	0.105	0.122	0.011	JIS K0102.13
ナトリウムイオン (mg/)	800	2300	1900	65000		酸分解・ 原子吸光法
カリウムイオン (mg/)	480	590	16100	2800	3200	同上
亜鉛イオン (mg/)					1400	酸分解・ICP法
塩化物イオン (mg/)	3500	4600		109000		イオン クロマトグラフ法

の小型単セルと、その試験結果に基づいてスケールアップした積層型の小型セルスタックである。

小型単セルは液流通部の大きさを、膜面積 10 cm² (10 mm (幅) × 100 mm (高さ)), 厚さは被処理液室を 2 ~ 3 mm, その両側の脱離液室を 1 ~ 2 mm とした。

また、後述の通り、場合によって脱離液室に炭素繊維フェルトを充填した。各室を分離する隔膜は、陽イオン交換膜と陰イオン交換膜を対で使用した場合と、両膜とも微多孔性の膜(MF膜)を使用した場合がある。構造はレドックス・フロー型二次電池の試作に倣い、溶剤による接着が容易な発泡ポリプロピレンシートを枠材として使用し、隔膜も接着によって埋め込むことにより一体化して製作した。

小型セルスタックは膜面積 300 cm² (150 mm (幅) × 200 mm (高さ))の陰・陽イオン交換膜を用いる単セル2層からなる一体型の透析槽(写真2)として試作した。

4.2 試験方法

4.2.1 小型単セルによる透析試験

表1に示す実液をリサイクルするために必要な脱塩及び重金属の除去について検討した。

被処理液は、チューブポンプ若しくはシリンダーポンプによって毎時 0.1 ~ 1 m³ の流量でセルに注入し、室温(約 18℃)において、定電流法ないし定電圧法で透析試験を行った。電流効率は、試験前後のイオン濃度の定量値から算出した理論電気量と実際の電気量とから求めた。

なお、定電流法では印過電圧が、定電圧法では電流が経時変化したため、評価は電圧、電流ともそれぞれの平均値で行った。

4.2.2 小型セルスタックによる透析試験

小型セルスタックに、芋焼酎粕濃縮液を供給し、液中のカリウムイオンを回収する試験を行った。10 V (5 V/セル)の定電圧を印加した場合において、流した電流の積算値と回収したカリウム量とから電流効率を、また、平均の印加電圧を用いて所要電力量を求めた。

4.3 試験結果及び考察

4.3.1 小型単セルによる透析試験

イオン交換膜を隔膜に用いた小型単セルでの試験結果を

表3に示す。

試験した実液の中では、梅発酵残液が最も高い電流効率を示した。これは梅発酵残液の流動性が比較的良く、透析処理される塩の濃度が大きいためであると推測された。

また、導電率が低く粘性が高く流動性に最も乏しい生ごみペーストにおいて、梅発酵残液に次ぐ電流効率を得られた。これは共存していたイオンの種類によるものと推測されるが、条件さえ揃えば導電率が低く粘性が高いスラリーについても十分に脱塩できる可能性を示している。一方、黒糖焼酎粕濃縮液は期待した効率が現われず、6%の電流効率となった。黒糖焼酎粕濃縮液の場合、液中のナトリウムイオン及びカリウムイオンと比べて格段に易動性の大きいプロトンの濃度が高いため、カリウムイオンの透過が制限されることが原因と推測される。

上述の結果を考慮し、黒糖焼酎粕濃縮液について、通電条件や機材構成を変化させ、カリウム回収における電流効率の改善を試みた。これらの一連の結果を表4に示す。

表4のNo.1は、印加電圧を5.0 Vから3.0 Vへ下げたことによる電流効率の改善結果である。電流が平均15.0 mAから平均8.5 mAへ40%以上低下し、逆に電流効率は6%から15%に向上した。この変更前後での性能を比較検討すると、まず使用電力は変更前が75 mWで、変更後が25.5 mWとなり、ほぼ1/3に低減した。また時間当たりカリウム回収量は、電流値と電流効率の積(それぞれ約0.90 mA, 約1.28 mA)に比例するので、結果として使用電力を1/3にしなが、40%以上ものカリウム回収量の向上が実現できた。

緩速式電気透析システム

表3 小型単セル透析試験結果
Electrodialysis Results of Small Single Cell Tests

被処理液	処理前後の濃度 (mg/)	印加電流又は電圧 (mA)又は(V)	線速度 (cm/min ⁻¹)	電流効率 (%)	備考
生ごみ系 メタン発酵消化液	Na ⁺ : 800 350	電流, 25 mA	0.57	21	・電圧変化 4 ~ 5 V
生ごみペースト	Na ⁺ : 2 300 1 800	電流, 25 mA	0.57	23	・電圧変化 4 ~ 6 V
黒糖焼酎粕濃縮液	K ⁺ : 16 100 11 500	電圧, 5 V		6	・滞留時間 10 時間の間欠運転 ・電流変化 20 10 mA(平均 15 mA)
梅発酵残液	Na ⁺ : 65 000 18 700	電圧, 5 V		36	・滞留時間 10 時間の間欠運転 ・電流変化 50 30 mA
豚糞尿	Zn ²⁺ : 1 400 300	電流, 25 mA	0.20	13	・電圧変化 4 ~ 5 V

電極, 膜面積: 10 cm², 温度: 17 ~ 21

表4 黒糖焼酎粕濃縮液 カリウム濃度低減回収における効率改善例
Improvements in Current Efficiencies for Reductions of Potassium Concentration in Shochu Residue

No.	処理前後の K ⁺ 濃度 (mg/)	印加電圧 (V)	電流推移 (平均電流) (mA)	電流効率 (%)	運転時間 (hr)	構成	
						隔膜	導電性物質
1	16 100 12 500	3.0	10 7 (8.5)	15	16	陰及び 陽イオン交換膜	導電性物質なし
2	16 100 12 800	3.0	20 15 (17.5)	14	10	微多孔性膜	導電性物質なし
3	16 100 10 900	2.5	25 10 (17.5)	15	10	微多孔性膜	炭素繊維 フェルト

()内平均値

電極, 膜面積: 10 cm², 温度: 25 ~ 27

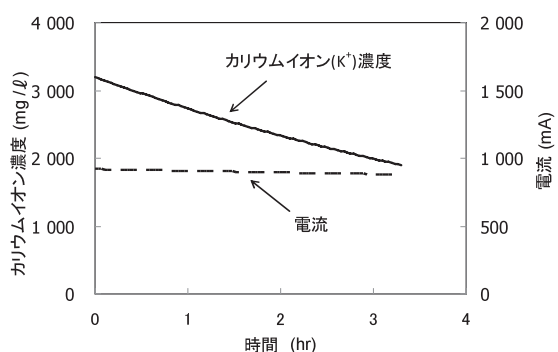


図 芋焼酎粕からのカリウム濃度低減回収
Reduction and Recovery of Potassium
from Shochu Distillation Residue from Sweet Potato

次に, 隔膜に微多孔性膜(MF膜)を用い, 各室間の圧力差を数 10 mmH₂O 程度になるように調整した場合の結果を表4のNo.2に示す。隔膜の変更により易動性が向上し, 電圧と電流効率をほぼ維持したまま電流量が2倍以上に増加した。電流値と電流効率の積は約 2.45 mA であり, No.1に比較すると時間当たり回収量は倍近くに相当し, 大きな性能の向上が実現できた。さらに, 安価な微多孔性膜(MF膜)が適用可能であったことから, 前述の通り透析槽の製造コスト

改善にも寄与する。

さらに, 透析槽の構成において, 脱離液室内での導電性を上げることができれば, 印加電圧が低減され, 運転コストを低減できる。一例として, 1 350 焼成の導電性を有する炭素繊維フェルトを脱離液室内に充填した結果を表4のNo.3に示す。炭素繊維フェルトの充填により, 印加電圧は 3.0 V から 2.5 V に低減した。No.2と比較して, No.3の電流値や電流効率はほぼ維持されており, カリウム回収量を維持しながら, 電力を 16% 削減することができた。

4.3.2 小型セルスタックによる透析試験

前記の黒糖焼酎粕濃縮液に対する小型単セル試験の結果を受けて, 芋焼酎粕濃縮液について小型セルスタックを用い, カリウム回収プロセスの実証試験を行った結果を図に示す。黒糖焼酎粕での単セル試験を参考に, 低い電流密度で透析処理を行うことで, 芋焼酎粕に対してセルスタックを使用した場合においても, 電流効率を約 15% に維持したままカリウムの回収が実現できた。

今後の展望

1 緩速式透析槽を用いるプロセスの構築

表1に示すように, 従来, バッチ式透析処理でしか対応できなかった脱塩処理分野においても, 緩速式電気透析槽は運転及び維持管理が容易な連続処理の可能性を示した。メタ

ン発酵消化液の脱塩処理は、この最も良い例と言える。

メタン発酵消化液は、肥料成分濃度のバランスを調整すれば、液肥としての利用価値は高い。しかし、原料であるバイオマスの中で生ごみなどは、塩分を比較的多く含有している場合がある。わが国のようにある程度の降雨量がある農地にこれを散布するのであれば、その塩分による土壌中の塩濃度増加の問題は生じない。しかし、近年、ハウス栽培や養液栽培に消化液を用いる場合は、当該農地で塩分の蓄積が問題になった事例が多くなっている。

また、焼酎粕を配合して有用な家畜飼料とするためには、過剰なカリウム濃度の低減が重要である。前述の小型セルスタックによる芋焼酎粕濃縮液からのカリウム回収試験では、焼酎粕の含水率を95%とすると、初期状態のカリウム濃度約3000 mg/L(乾燥ベースで6 wt%相当)が処理後には約2000 mg/L(乾燥ベースで4 wt%相当)に低減された。現状の想定では、廃棄物由来のため他の飼料に比較して安価な焼酎粕を他の飼料に配合して使用することを前提としており、カリウム含有量の低減に即して、より多くの割合で焼酎粕が配合できることになる。このことは、配合飼料のコスト抑制上有効である。

さらに、回収したカリウムを含有する脱離液は、液肥として利用することが可能なため、相乗効果で付加価値の高いリサイクルプロセスが構築できる。

2 実用化に向けての検討

一例として、焼酎粕中のカリウム回収を行なう場合のシステムの設計条件概略を以下に示す。

回収条件：8.8 t/日(焼酎粕濃縮液：固形分40%)

処理条件：運転時間 8時間/日

カリウム回収量 50 kg/日(1 kg/t-焼酎粕)

電流密度 約1.6 A・dm⁻²

電流効率 約15%

透析槽所要膜面積：0.25 m²/セル×300セル

(500 mm×500 mm膜/セル、写真2参照)

平均印加電圧：3V

所要電力量：透析槽本体 約200 kWh/日

ポンプ等補機類 約100 kWh/日

(ポンプは粘性流体用、6 m³/時、3.7 kW)

焼酎粕1トンあたり所要電力量 約6 kWh/t

ここで、表4の小型単セル試験結果をそのまま外挿して推算した所要電力(送液のための電力を除く)は、焼酎粕やメタン発酵消化液など1トンあたりで数kWh程度となり、実用上許容できるレベルと判断できる。今後、更に精度を上げ、最適設計及び被処理液ごとの最適運転条件の確立を目指す。

6. 結言

発泡樹脂枠により一体化した緩速式電気透析槽を用いた高粘性スラリーの透析処理を検討し、実用化できる見通しを得た。

この技術は透析処理の範囲を拡げるものであり、この電気透析槽を用いれば、従来、廃棄物として処分されてきたものも、リサイクルする道が拓かれる。特に、メタン発酵消化液の脱塩や、焼酎粕中カリウム回収などが効率的に行え、その脱塩

処理液は養液栽培やハウス栽培に再利用できる見通しを得ることができた。メタン発酵消化液の経済的なリサイクルシステムを提供できる点については、再生可能エネルギー源であるバイオガスを普及させてゆくときの重要な付加価値の一つになると考えられる。こうしたリサイクル分野において、当社開発の一体化緩速式電気透析槽を用いた脱塩プロセスが一助となり、リサイクル社会化の促進に繋がることを期待したい。

最後に、本研究開発を進めるに当たり、貴重な助言を戴いた帯広畜産大学高橋潤一名誉教授、梅津一孝教授、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構九州沖縄農業研究センターイネ発酵TMR研究チーム各位に厚く謝意を申し上げる。また、試験装置の構成や分離試験にご協力いただいた帯広畜産大学山城隆樹氏に深謝する。

参考文献

- 1) 浜本・外：電力貯蔵用電池の開発，三井造船技報，131(1987)，p. 19
- 2) O.Hamamoto, et al.: Portable type cells for redox batteries, Of the symposium on batteries and fuel cells for stationary and electric vehicle applications, 93, 8(1993)
- 3) 大竹：食品工業排水における膜利用技術の研究(2)，茨城県工業技術センター研究報告，17(2007)，p. 37
- 4) O.Hamamoto: New concepts of biogas systems for sustainable agriculture, Workshop of management of greenhouse gases of agriculture sectors in Taiwan, (2011)
- 5) 鈴木・外：カンショ焼酎粕濃縮液を添加した発酵TMRの発酵品質と乳牛生産成績への影響，日畜会報 81, 4(2010)，p. 449

〔問い合わせ先〕

エンジニアリング事業本部 事業開発部

TEL 043-351-9113 瀬野 比呂司



濱本 修



久芳 良則



杉山 洋一



杉浦 公昭



瀬野比呂司

プラズマ強度分布制御型高圧プラズマ源の開発

中島 義晴* 星島 一輝* 木村 憲明**
土井 恭二* 弓井 考佳*

High Pressure Plasma Source of Plasma Intensity Distribution Control

Yoshiharu NAKASHIMA, Kazuteru HOSHISHIMA, Noriaki KIMURA, Kyouji DOI, Takayoshi YUMII

Plasma process is a key technology for products which attract attention in recent year, like a solar panel, organic EL and semiconductor device. To achieve high productivity of these products, we propose a new type plasma source which aims at a uniform film formation on a large size substrate under high pressure. For speeding up of film formation, high pressure is effective, so we used a plasma actuator type electrode for stable discharge under high pressure. We arrayed these electrodes in a reticular pattern. The construction of the arbitrary plasma distribution has become possible by controlling individual plasma intensities of electrodes. This means we can set right the film non-uniformity stemming from the electrode expanding by feeding back the data of non-uniformity to the plasma intensity distribution. Based upon this finding for verification purpose, we prepared 164mm angle arrayed electrodes (7 rows longwise 7 rows widthwise, 49 pieces), and we confirmed that the discharge was stable under 500 Pa pressure in Ar atmosphere, and we could build an arbitrary plasma intensity distribution by using this method.

プラズマプロセス技術は、太陽電池、有機EL、半導体デバイスなどの今日注目されている製品の重要な製造技術である。これら製品の高い生産性の実現のために、高速成膜と大面積均一成膜を目指した、プラズマ強度分布の制御が可能な高圧プラズマ源を開発した。プラズマ源に用いた電極は、高速成膜につながる高圧力化のため、高圧力下で安定放電可能なプラズマアクチュエータ構造とした。さらに、これらの電極を直交格子状に並べ、個々のプラズマ強度を制御することで任意の面内プラズマ強度分布を構築することを可能とした。これは、大面積化した場合に想定される不均一な膜厚をプラズマ強度分布の調整により矯正可能であることを意味する。本報では、製作した寸法164mm角のアレイ型プラズマ源(縦7列×横7列の計49個)の試験装置を用いて、Ar雰囲気下500Paで安定的に放電し、かつ任意の面内プラズマ強度分布が構築可能であることを示した。

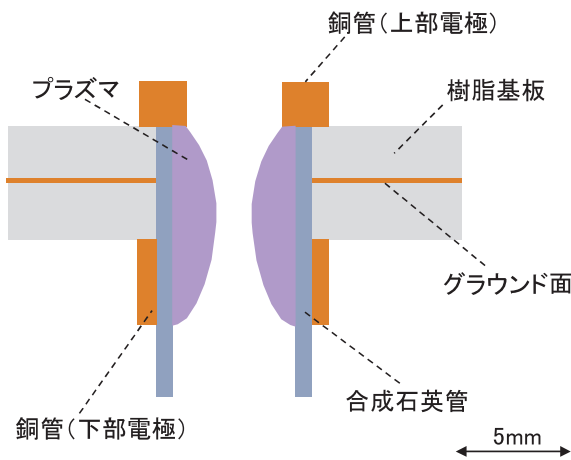


図1 成膜用プラズマアクチュエータ型電極
Plasma Actuator Type Electrode for Film Formation

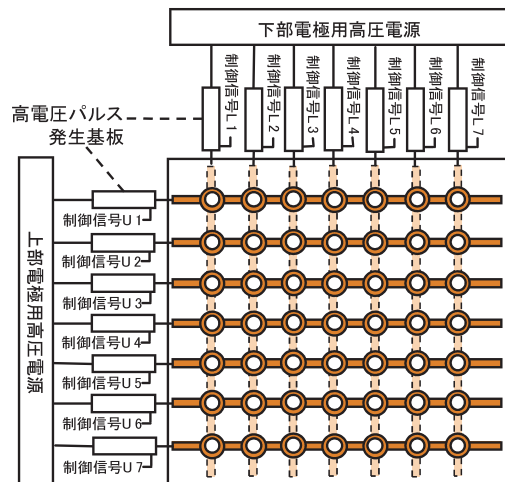


図2 強度分布制御型高圧プラズマ源の概略図
Schematic View of High Pressure Plasma Source of Plasma Intensity Distribution Control

* 技術開発本部 玉野技術開発センター

** 技術開発本部

1. はじめに

プラズマを用いた成膜装置は、シリコン薄膜太陽電池、有機 EL、半導体デバイスといった今日注目されている製品を製造するために必須の設備である。これら製品の低コスト化につながる高い生産性の実現には、高速成膜や大面積均一成膜が有効であり、研究開発が進められている¹⁾。

高速成膜に関しては、プラズマにより発生する成膜原料であるラジカルを効率的に生成し、ラジカル密度を上げる必要がある。そのための有効手段として、プラズマへの投入電力増加のため、励起周波数を上げたり、原料密度を上げるつまりは成膜圧力を上げることが試みられている。しかし、励起周波数を上げていくと、波長と電極サイズが近くなってきた時に定在波によるプラズマの不均一性が問題となりやすい²⁾。また、高圧力化を進めると、プラズマが局所的に存在する傾向があり、プラズマを安定的に維持することが困難になってくる。

次に、生産性向上のためのもう一つの方法である大面積均一成膜に関しては、大面積になればなるほどガス流れの偏りやプラズマの均一性の問題から、均一に成膜を行うことがより困難になると思われる。

本報では、高圧力下において安定的放電が可能なプラズマアクチュエータ構造を用い、平面アレイ状に並べたプラズマアクチュエータ型電極個々のプラズマ強度の制御により、プラズマ強度分布制御が可能であることを示した。このプラズマ源は、今日の先端産業に必須のプラズマプロセス装置における高い生産性の実現に必要な高速成膜と大面積均一成膜に向けた一つの解決案として期待される。

2. プラズマ強度分布制御型高圧プラズマ源の特長

プラズマプロセス装置の高い生産性実現のための一つのキーワードである高速成膜のため、高圧力下においても安定的に放電可能なプラズマ源が求められる。高圧力になればなるほど、平均自由行程が短くなるためプラズマは局所化する。したがって、高圧力下でも安定的に放電可能な構造が必要となる。そこで、プラズマの発生により流れが誘起される特長を有し、高圧力下でも安定的に放電するプラズマアクチュエータをプラズマ源として使用することとした。検討の結果、図1に示す成膜に適した構造のプラズマアクチュエータ型電極を考案した。

次に、大面積に対する均一成膜に関しては、仮に大面積化に伴い膜厚分布に偏りが生じても、その情報を基に膜厚が均一となる様にプラズマ強度分布に偏りを持たせられれば、膜厚分布を均一に矯正できると考えられる。そこで、大面積均一成膜を実現すべくプラズマ強度分布制御が可能なプラズマ源を考案した。具体的には、高圧力下でも放電可能なプラズマアクチュエータ型電極を、縦N列×横N列の計N²個並べる。そして、これら電極個々のプラズマ強度を変化させ、任意のプラズマ強度分布を構築することにより、平面内にて、例えば右下方を強く、左上方を弱くすることが可能になる。個々の電極のプラズマ強度は、各電極に印加する高電

圧パルス数によって制御する。そのため図2に示すように、本プラズマ源の制御部は、電極に高電圧パルス印加するため、各電極列に1枚の高電圧パルス発生基板が接続された構造とした。高電圧パルス発生基板は、新たに製作したものである。

これらにより、高圧力下でも安定的にプラズマが生成し、プラズマ強度分布制御が可能であることを特長とするプラズマ源の構築が可能となった。以下に、製作したプラズマ源の詳細をプラズマアクチュエータ型電極、制御方法、高電圧パルス基板の順に説明する。

3. プラズマアクチュエータ型電極の構造

3.1 プラズマアクチュエータの構造と特長

代表的なプラズマアクチュエータの構造を図3に示す。プラズマアクチュエータは、2枚の金属から成り、一方はむき出し、もう一方は誘電体に覆われた構造を持つ。この2枚の電極間に数kHz、数kVの交流電圧を印加すると、電極間にプラズマが発生し、むき出し電極側から誘電体に覆われた電極側への流れが誘起される。

この流れが誘起されるメカニズムは明確に解明されていないが、一般的に電離により生成したイオンが電場により加速され中性分子に衝突し、その結果、流れが誘起されると考えられている。交流を印加しているにも関わらず一方に流れが誘起されるのは不思議であるが、これは片側の電極のみが絶縁体で被覆されていることによる電極の非対称性のためと考えられる。すなわち、むき出し電極が負電圧の時は、むき出し電極側からの放出電子により放電が開始されるが、逆に正電圧の時は、対向する誘電体被覆電極の表面に堆積した電子により放電が開始される。この放電開始時の初期電子の差が、放電の非対称性を生じ、片側へ流れが誘起されると考えられている³⁾。

この現象を確認するため、2段に重ね合わせた合成石英板表面に電極として銅テープを貼り、片側電極を絶縁テープで完全に被覆したモデルを製作し、電極間に±7.5kV、13kHzの交流電圧を印加したところ、5mm下流の位置にて約15m/sの誘起流れを確認した。写真1にその状況を示す。煙によって可視化した流線がプラズマのON/OFFによってプラズマ域に引きこまれ、プラズマアクチュエータ効果が確認できる。プラズマアクチュエータの特長として、この誘起流れと大気圧下でも、写真1のように安定的な放電が可能であることを確認した。

3.2 成膜用プラズマアクチュエータ型電極の構造

プラズマアクチュエータは、図3に示すように、平板状の合成石英板を絶縁体とする構造が一般的であるが、開発した

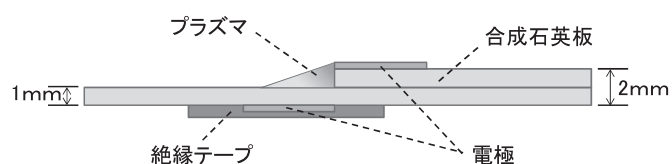


図3 代表的なプラズマアクチュエータの構造
Representative Structure of Plasma Actuator

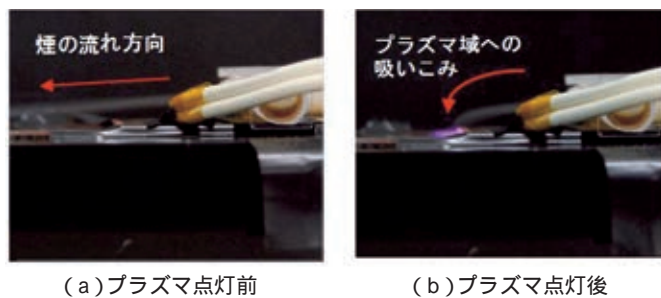


写真1 プラズマアクチュエータ効果の確認実験
Confirmatory Experiment of Plasma Actuator Effect

プラズマアクチュエータは、図1に示したとおり、外径が数mmの管状合成石英管を絶縁体としている。合成石英管の上部と下部には、それぞれむき出し側電極、絶縁側電極として銅管を設置している(以降、前者を上部電極、後者を下部電極と称す)。これら二つの電極間に交流電圧を印加すると、合成石英管を挟んで電極間でプラズマが発生し、上部電極から下部電極側へ流れが誘起される。これは合成石英管の上部から成膜の原料ガスが導入され、管内のプラズマ域を通過時にラジカルが生成され、その後ラジカルが下方から排出されることを想定している。本構造のプラズマアクチュエータ型電極を $N \times N$ の直交格子状に並べ個々のプラズマ強度を調節し、任意のプラズマ強度分布を構築する。

4. プラズマ強度分布制御方法

4.1 高電圧パルス列を用いた強度分布制御

製作した試験装置には、プラズマアクチュエータ型電極を図2と写真2に示すように、縦列7個×横7個の計49個並べている。この数は使用した真空チャンバの寸法による制限であり、個数を増やすことに原理的な問題はない。これら49個のプラズマアクチュエータ型電極を個々に制御するために、まず上部電極7個を横方向に直列に接続する。プラズマアクチュエータ型電極を保持するために、164mm角の樹脂基板を使用したが、この基板表面には電極を直列に接続するために幅2mmの銅パターンが施されている。また、この樹脂基板の中央には図1に示すように、グラウンド面が設けられており、直列接続のための銅パターンとともにマイクロストリップライン構造を構成している。これは、今後数MHzの高周波電圧を印加することを想定した場合に必要な。裏面には下部電極が設置されており、縦方向に幅2mmの銅パターンにより電極が直列に接続されている。図2に示すように、各銅パターンの先にはパワーMOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) を用いた高電圧パルス発生基板があり、さらに、その先には正負の高電圧DC電源が接続されている。高電圧電源から印加されたDC電圧は、高電圧パルス発生基板にて、スイッチングされ高電圧パルスが生成される。すなわち、パルス発生基板に使用されているパワーMOSFETのゲート信号を制御することによって、任意の高電圧パルス列を生成することが可能である。

例えば、上部電極列1行目、下部電極1列目に対し、パル

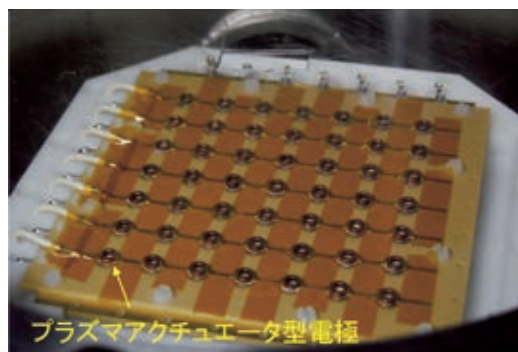


写真2 強度分布制御型高圧プラズマ源の試験装置
Experimental Equipment of High Pressure Plasma Source of Plasma Intensity Distribution Control

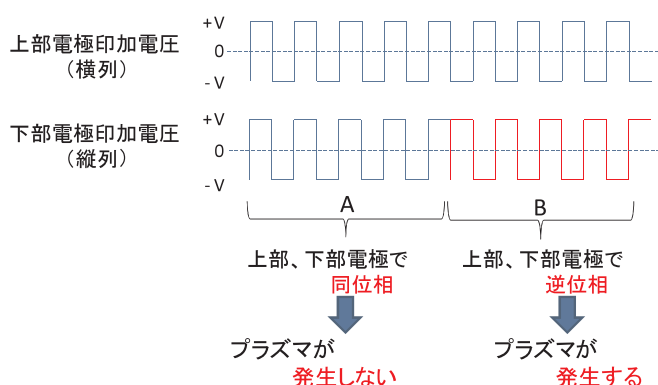


図4 高電圧パルス列によるプラズマ強度制御
Plasma Intensity Control by High Voltage Pulse

ス発生基板から図4のA箇所に示すように高電圧パルス列が印加されたとする。Aの箇所では上部電極と下部電極で同位相となっているため、プラズマが発生しない。一方、Bの箇所では上部、下部電極間で逆位相となっているため、上部と下部電極間で $2 \times V$ の電位差となり、プラズマが発生する。よって、この逆位相となるパルス数を調節することにより、任意の箇所においてプラズマの強度(ここで言うプラズマ強度とは単位時間当たりのプラズマの発生回数)が制御可能となる。

上部電極用縦7列、下部電極用横7列の計14列にパルス電圧を印加するために、計14枚のパルス発生基板を使用しているが、各基板に使用されているMOSFETのゲートに、目的のプラズマ強度分布に基づいた符号列を送ることにより、目的としたプラズマ強度分布が達成可能である。

4.2 高電圧パルス発生基板の製作

製作した高電圧パルス発生基板の概略回路と外観写真を図3と写真3に示す。本基板は、PチャンネルとNチャンネル二つのパワーMOSFETから構成され、Pチャンネルのソース側を高電圧電源の正出力へ、Nチャンネルのソース側を高電圧電源の負出力へ接続する。PチャンネルとNチャンネルのパワーMOSFETのゲートへ互いに反転した論理信号を入れると、出力端から正、あるいは負の電圧(高電圧電源からの印加電圧)が出力される。実際の出力パルス波形を図6に示す。上段側が上部電極に印加されるパルス列を、

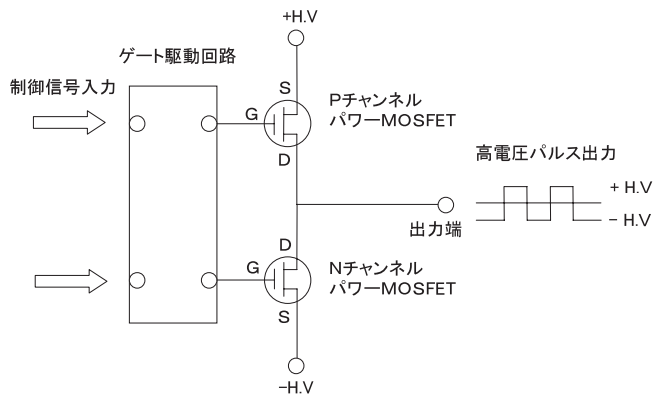


図 高電圧パルス発生基板回路
Circuit of High Voltage Pulse Generator

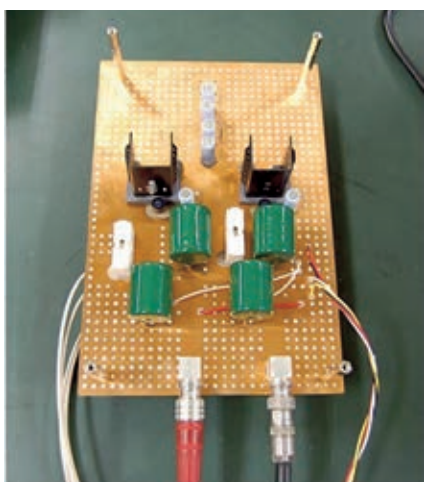


写真3 高電圧パルス発生基板
High Voltage Pulse Generator

下段側が下部電極に印加されるパルス列を示している。3.1ではパルス波形を便宜的に +V から -V へ変化するように表現したが、実際には図6に示すように、一度 0V を介してから電圧が反転する。これは、もし P チャンネルと N チャンネルのゲートが共に ON となる瞬間があれば、それは P チャンネル側から N チャンネル側への短絡を意味し、大電流が流れデバイスを破損してしまうためである。そのため P チャンネルの ON 時間と、N チャンネルの ON 時間が必ず重ならないように、P チャンネルと N チャンネルの両 MOSFET が OFF である 0V となる時間を設けてある。

表1に製作した高電圧パルス発生基板の仕様を示す。なお、現在 P チャンネル MOSFET に関しては最大で +600 V、N チャンネル MOSFET に関しては最大 -4 000 V 仕様が市販されており、これらのデバイスを使用することによって、更なる高電圧パルスが出力可能な基板製作が可能である。

プラズマ強度分布制御結果

1 実験装置説明

実験装置の外観を写真4に示す。使用した真空チャンバは、内部寸法が 300 mm × 高さ 200 mm の円柱型であり、写真

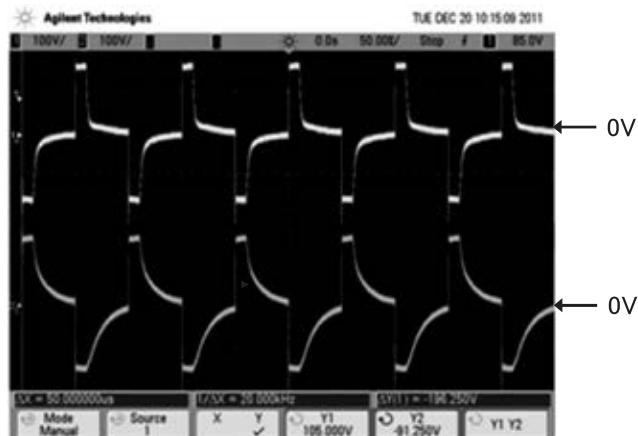


図6 高電圧パルス波形
High Voltage Pulse Shape

表1 パルス発生基板の仕様
Specifications of High Voltage Pulse Generator

出力電圧	最大 ± 250 V
繰り返し周波数	最大 1 MHz
立ち上がり時間	30 ns
パルス幅	100 ns 以上から設定可能

右側には上部電極7列に電圧を印加するために7枚、下部電極7列に電圧を印加するために7枚の合計14枚のパルス発生基板が設置されている。またその横には、パルス発生基板へと接続された高電圧電源2台(正出力用と負出力用)が置かれている。実験に使用したプラズマ源を写真5に示す。上部、下部ともに7列の直列接続された電極列が構成されているが、列間が逆位相になった際には列間での放電が発生する。よって、列間での放電を防止する目的で、アセタール系樹脂製の放電防止カバーを設置している。

2 実験条件・準備

プラズマの点灯実験は Ar 雰囲気下、圧力 500 Pa で、印加電圧は ± 200 V、繰り返し周波数 100 kHz、パルス幅 1 μs の条件にて行った。実際の放電写真を写真6に示す。合成石英管内で白く放電していることが確認できる。

次に、プラズマ強度分布制御を確認するためには、本来ならばラジカル密度を計測し、プラズマ強度分布制御に対しラジカルが実際に変化していることを計測すべきである。しかし、本実験では簡易的にプラズマをカメラで撮影し、その画像データを輝度値に変換し、その輝度値の変化によりプラズマ強度分布を評価することとした。

得られたプラズマの画像を写真7に示す。画像の下に示した数値は、プラズマの点灯指示率で、単位時間当たりのパルス列に対して、上部電極と下部電極で逆位相となっているパルスの割合を表している。例えば、上部電極に印加された100パルスに対し、下部電極に印加されたパルス電圧が、60パルスは同位相で(プラズマが発生しない)、残りの40パルスが逆位相で(プラズマが発生する)印加された場合は、点灯指示率 40% としている。

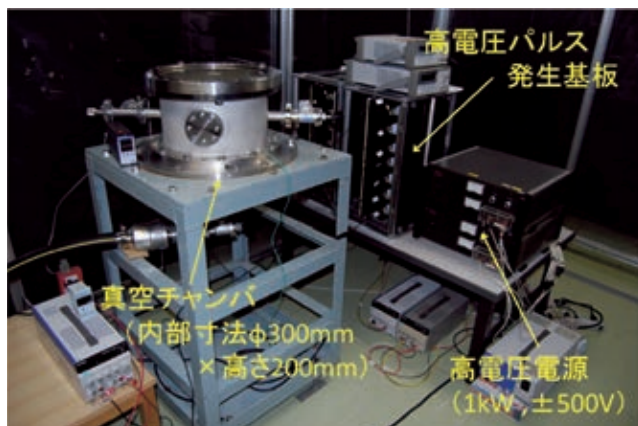


写真4 実験装置外観
Appearance of Experimental Equipment

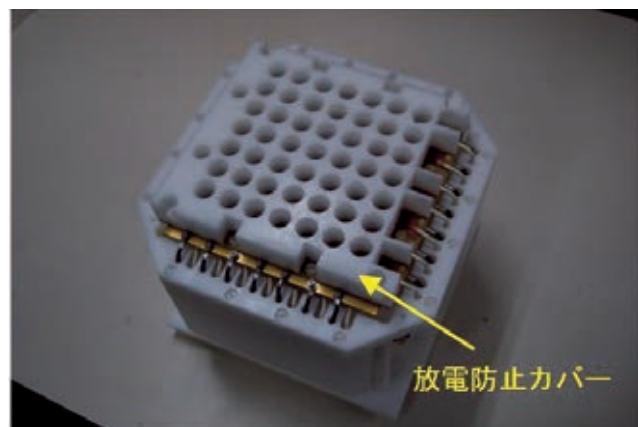


写真 放電防止カバーを取り付けたプラズマ源
Plasma Source attached with Electric Discharge Prevention Cover

この得られた画像のRGB値から式(1)を用いて輝度に変換し、発光部分の平均輝度を求め、図7のようにプラズマ点灯指示率と輝度Yでグラフ化した。

$$Y=0.299R + 0.587G + 0.114B \dots\dots\dots(1)$$

R: 赤色8bit値, G: 緑色8bit値, B: 青色8bit値

図に示したように、プラズマ点灯指示率に対する輝度の変化は良い直線性を示しており、輝度によってプラズマの強度変化を評価することは妥当であると考えられる。

3 プラズマ強度分布制御結果

プラズマ強度を中央部で強くし、周辺部を弱く設定したときの分布制御結果を写真に示す。プラズマ点灯指示率は表2に示すように、最もプラズマが強い中央部から弱く設定した周辺部まで、63% 50% 38%と3段階で変化させた。カメラ画像ではコントラストが弱く、プラズマ点灯指示率に分布を付けた場合の差が分かりにくいので、分布を付けていない状態での輝度画像を基準とし、分布を付けた状態の輝度画像から、この基準輝度画像を引いた差分画像により評価した。目的とするプラズマ強度分布と同様、中央部で輝度が高

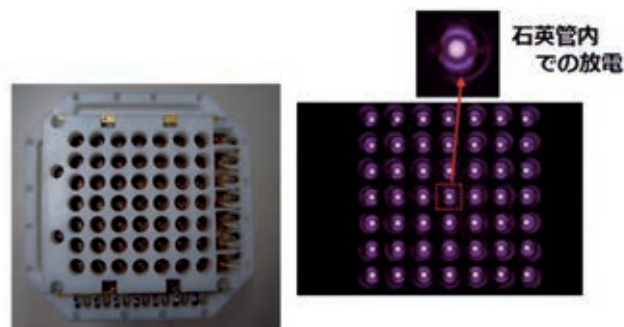


写真6 合成石英管内での放電の様子
Appearance of Plasma in Synthetic Silica Tube

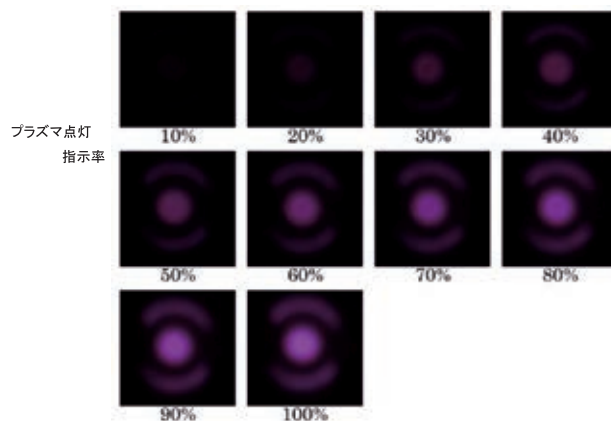


写真7 プラズマ点灯指示率を変えた時のプラズマの画像
Plasma Image when Plasma Lighting Indication Rate is changed

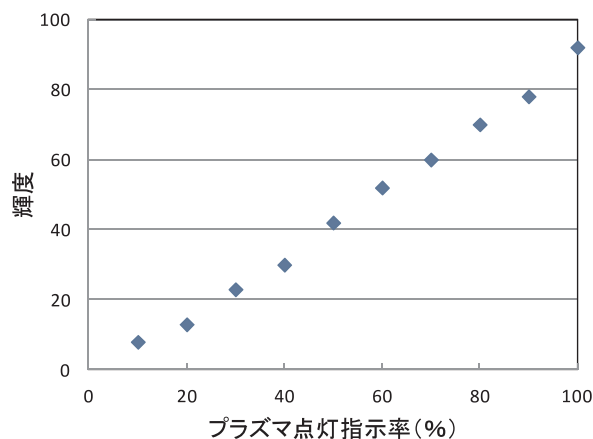
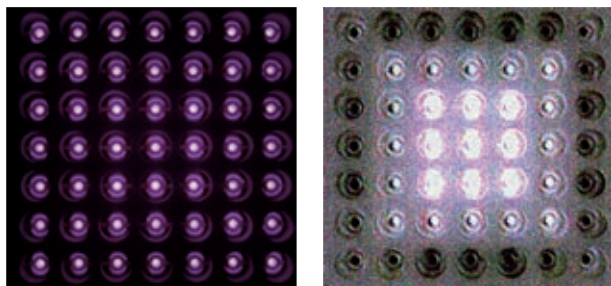


図7 プラズマ点灯指示率に対する輝度変化
Brightness Change according to Plasma Lighting Indication Rate

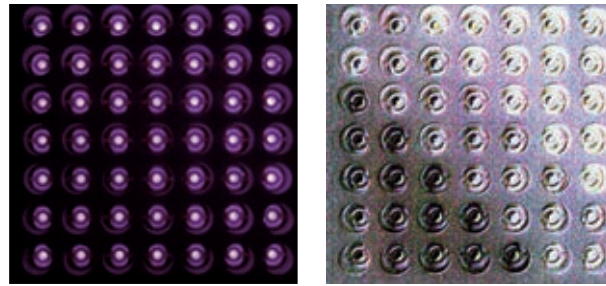
くプラズマ強度が強くなっていることが分かる。

次に、プラズマ強度を右上部で強くし、左下部を弱く設定したときの分布制御結果を写真に示す。プラズマ点灯指示率は表3に示すように、最もプラズマが強い右上部から弱く設定した左下部まで、62% 50% 38%と3段階で変化させている。こちらも目的通り右上部で輝度が高く、目的の強度分布が構築できていることが分かる。



(a)放電写真 (b)差分画像

写真 プラズマ強度分布制御結果(その1)
Control Result of Plasma Intensity Distribution(Case1)



(a)放電写真 (b)差分画像

写真 プラズマ強度分布制御結果(その2)
Control Result of Plasma Intensity Distribution(Case2)

表2 設定したプラズマ点灯指示率(その1)
Plasma Lighting Indication Setting Rate(Case1)

38%	38%	38%	38%	38%	38%	38%
38%	50%	50%	50%	50%	50%	38%
38%	50%	63%	63%	63%	50%	38%
38%	50%	63%	63%	63%	50%	38%
38%	50%	63%	63%	63%	50%	38%
38%	50%	50%	50%	50%	50%	38%
38%	38%	38%	38%	38%	38%	38%

表3 設定したプラズマ点灯指示率(その2)
Plasma Lighting Indication Setting Rate(Case2)

50%	50%	62%	62%	62%	62%	62%
50%	50%	50%	62%	62%	62%	62%
38%	50%	50%	50%	62%	62%	62%
38%	38%	50%	50%	50%	62%	62%
38%	38%	38%	50%	50%	50%	62%
38%	38%	38%	38%	50%	50%	50%
38%	38%	38%	38%	38%	50%	50%

6. おわりに

高速成膜と大面積均一成膜を可能とするプラズマ源を目指し、高圧力下にて安定的に放電し、かつプラズマ強度分布制御が可能なプラズマを生成する実験装置を製作し検討を行った。

高速成膜に向けた高圧力化は、高圧下で安定的に放電可能なプラズマアクチエータ構造を用いることにより可能となることを示した。任意のプラズマ強度分布の構築は、このプラズマアクチエータ型電極をアレイに並べ、アレイに印加される高電圧パルスのパルス数の制御により確認した。これは膜厚分布の不均一を、プラズマ強度へフィードバックし、均一となるように矯正することが可能であることを意味する。

また 製作したパルス発生基板は、より耐電圧の高いパワーMOSFET を使用するなどの改良により、更なる高電圧パルスを発生させることが可能である。すなわち、本プラズマ源の更なる高圧力化が可能である。

三井造船は、本報で紹介したプラズマ強度分布制御型高圧プラズマ源が、今後の新しいプラズマ源開発へ大きく貢献することを狙っている。

- 2) 節原：低インダクタンス内部アンテナを用いたプラズマ源の開発と反応性プラズマプロセスへの展開、プラズマ・核融合学会誌，87，1(2011)，p. 24
- 3) G. I. Font, et al.: Recent Progress in Dielectric Barrier Discharges for Aerodynamic Flow Control, Contributions to Plasma Physics, 47，1-2(2007)，p. 103

〔問い合わせ先〕

技術開発本部 玉野技術開発センター
TEL 0863 - 23 - 3041 中島 義晴

参 考 文 献

- 1) 菅井：大面積プラズマCVDプロセスの開発最前線，プラズマ・核融合学会誌，86，1(2010)，p. 28



中島 義晴



星島 一輝



木村 憲明



土井 恭二



弓井 考佳

ハイドレート技術による CO₂ 分離回収の実験的検討

櫻井 聡一郎* 宮川 満* 松尾 和 芳* 加藤 寿 仁*

Experimental Examination of CO₂ Separation by Hydrate Technology

Soichiro SAKURAI, Mitsuru MIYAGAWA, Kazuyoshi MATSUO, Toshihito KATO

Establishment of carbon dioxide separation and capture technology with low cost and little environmental load is required for reduction of the greenhouse gas. Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd. (MES) is investigating by simulation an application of hydrate method to CO₂ separation and capture from H₂-CO₂ mixture gas normally produced in the shifted syngas IGCC (Integrate Coal Gasification Combined Cycle) process. MES has already reported the possibility of separation and capture at a low cost. This paper reports an experimental CO₂ separation performance from H₂-CO₂ mixture gas by means of hydrate method using a continuous-type test apparatus which successfully produced and decomposed hydrate continuously. The difference of separation performance according to the gas/liquid ratio, pressure, temperature, reaction time, stirring speed (gas dispersion) in hydrate reactor was also examined.

When the hydrate generation process was combined with dissolution process, the CO₂ recovery rate was improved considerably compared with hydrate single process. The CO₂ recovery rate turned out to be as high as 80 - 95% in case of the combined system.

It is also understood that the hydrate generation was promoted by combining CO₂ dissolution process resulting in a higher separation performance.

近年、温室効果ガス削減のため、低コストで環境負荷の少ない二酸化炭素分離回収技術の確立が急務となっている。三井造船は、H₂とCO₂からなる石炭ガス化複合発電(IGCC)設備中間工程排ガスのCO₂分離回収に対するハイドレート技術の適用性をシミュレーションで評価し、低コストでのCO₂分離回収可能性について既に報告している。

本報では、IGCC設備中間工程排ガスを模擬したH₂・CO₂系混合ガスからのCO₂分離性能に関し、連続式ハイドレート生成分解試験装置を用いた検証実験結果について述べる。

生成槽での気液比(ガス流量と液流量の比)、温度、液滞留時間、気泡放出流量が分離性能に与える影響を実験により評価した結果、ハイドレート生成とCO₂溶解の組み合わせにより、ハイドレート生成が促進され、CO₂回収率はハイドレート生成工程による単独分離の結果より高く、80～94%となり、分離性能が高くなることが分かった。

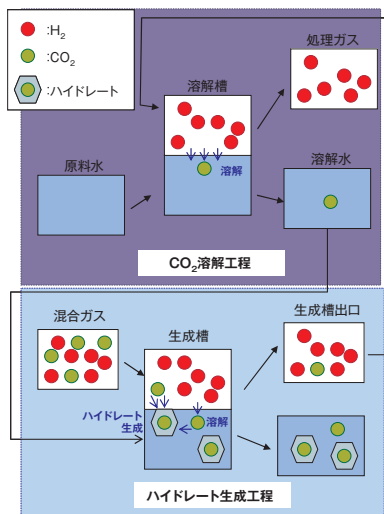


図1 ハイドレート生成とCO₂溶解のプロセスの概念図
Conceptual Diagram of Hydrate Generation and CO₂ Dissolution Processes

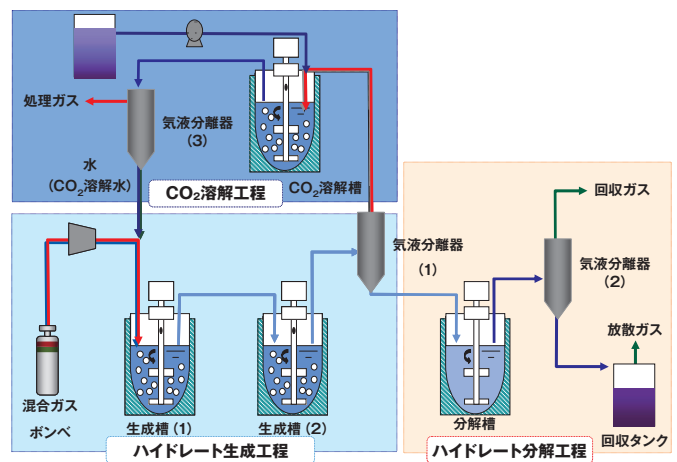


図2 連続式試験装置の概略フロー
Flow Diagram of Continuous-type Test Apparatus

* 技術開発本部 千葉技術開発センター

1. はじめに

近年、エネルギー問題を背景に化石資源を燃料とする発電所の普及が高まりつつあるが、化石燃料の使用に伴う二酸化炭素(CO₂)排出量の増大が地球温暖化問題につながるため、温室効果ガス削減対策の一つであるCO₂分離回収貯留(Carbon Dioxide Capture and Storage: CCS)技術の確立が求められている¹⁾。特に、CCS技術の中でCO₂分離回収の部分がコストの多くを占めるため、低コストで環境負荷の少ないCO₂分離回収技術の開発が必要とされている。

三井造船では、ガスハイドレートをを用いた天然ガスの輸送・貯蔵システムの開発を行っており^{2),3)}、これらのハイドレート技術を応用し、ハイドレートによるCO₂分離技術の開発を進めている。前報⁴⁾では、ハイドレート生成とCO₂溶解を組み合わせたCO₂分離回収プロセスの石炭ガス化複合発電(Integrated Coal Gasification Combined Cycle: IGCC)への適用可能性を評価し、CO₂分離コストを試算した結果、我が国の将来の目標値を達成する可能性が高く、低コストのプロセスであることを明らかにした。

本報では、ハイドレート生成とCO₂溶解を組み合わせた連続式ハイドレート生成分解試験装置(以下、連続式試験装置)を製作し、IGCC設備中間工程排ガス(主要ガス成分: H₂, CO₂)を模擬した混合ガスからのCO₂分離性能について実験的に評価し、ハイドレート生成の重要なパラメータである生成槽での気液比(ガス流量と液流量の比)、圧力、温度、液滞留時間及びガスホールドアップ、ハイドレート分解圧力、分解温度の影響並びにCO₂溶解工程の有効性について確認した結果を報告する。

2. CO₂溶解を組み合わせた利点

ハイドレート生成とCO₂溶解を組み合わせたプロセスの概念図を図1に示す。本プロセスは、ハイドレートでCO₂を回収するが、未反応のCO₂をリサイクルし、原料水へ溶解させる工程を有することを特長とする。ハイドレート生成とCO₂溶解の組み合わせによる利点を図3に示す。図3に示すハイドレート転換率とは、供給ガス量とハイドレートに包蔵されるガス量との比であり、ハイドレート転換率が高ければガスがハイドレートとして回収される割合が高いことを意味している。

溶解工程がある場合、CO₂を溶解させた液を供給するため、ハイドレート生成工程内において初期のガス溶解量は溶解工程なしの場合に比べて少ない。このため、CO₂分圧が溶解工程なしの場合に比べて高くなるため、平衡圧力が低くなり、ハイドレート生成が起こりやすい状態となって、ハイドレート転換率が増加する。また、ハイドレート生成工程で処理したガスは、原料水に溶解させるため、CO₂を更に除去することができる。一方、溶解工程がない場合、ハイドレート生成工程内での初期のガス溶解量が多くなるため、CO₂分圧が低下し、平衡圧力が高くなって、ハイドレート生成が起こりにくい状態となる。

3. 連続式試験装置及び試験方法の概要

3.1 連続式試験装置

連続式試験装置の概要を図2に示す。また、その概略仕様を表1に示す。試験装置は、ハイドレートを生成させるハイドレート生成工程とCO₂を原料水に溶解させるCO₂溶解工程、CO₂を回収するハイドレート分解工程から構成される。

本装置では、ハイドレートの生成槽(1),(2)での未反応ガスが、CO₂溶解槽を経由して処理ガスとして放出される。また、ハイドレートスラリーは、ハイドレート分解槽で含有するハイドレートが分解及び溶解したCO₂が放散され、回収ガス及び放散ガスとして放出される。これらのガスについては、放出時にその成分分析を行った。

生成槽とCO₂溶解槽では、槽内の気相ガスを攪拌とともに攪拌シャフト内より吸い込み、攪拌翼の先端から放出させるガス循環方式を採用した。また、各槽の温度については、冷却ジャケットと低温恒温水循環装置により調整を行った。

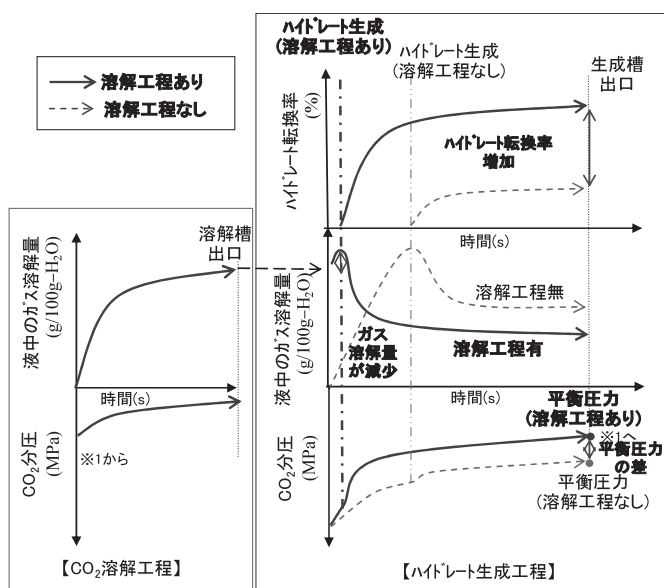


図3 ハイドレート生成とCO₂溶解の組み合わせによる利点
Advantage by Combination of Hydrate Generation and CO₂ Dissolution

表1 連続式試験装置の概略仕様
Main Specifications of Continuous-type Test Apparatus

項目	仕様	仕様
生成槽・溶解槽内容量	m ³	各 1.0 × 10 ⁻³
混合ガス最大供給量	Nm ³ /h	0.48
原料水最大供給量	m ³ /h	84 × 10 ⁻³
生成槽・溶解槽最高使用圧力	MPa	12.0
分解槽最高使用圧力	MPa	4.0
攪拌回転数	rpm	0 ~ 1600

3.2 試験方法

試験開始時点では、あらかじめ生成槽内に原料水(水道水)を仕込み、所定のガス組成からなる混合ガスのみ供給しハイドレートを生成させた。その後、ガスと原料水を連続供給した。

ガス分離性能は、CO₂ 回収率、分離係数(Separation Factor: *S.F.*)で評価し、式(1)(2)より算出した。分離係数は、値が高ければハイドレート中の CO₂ 濃度が高いか、あるいは処理ガス中の CO₂ 濃度が低いことを示している。既存の報告では、H₂ (60.8 vol.%)・CO₂ (39.2 vol.%)により圧力が 7.5 MPa、温度が 273.7 K の回分式操作条件により得られたハイドレート平衡時の分離係数は、98.1 と報告されている⁵⁾。式中、回収ガスとは分解槽圧力 0.1 ~ 4.0 MPa の範囲内で回収したガスであり、放散ガスとは回収タンクの大気圧で回収したガスである。

$$CO_2 \text{ 回収率} = \frac{G_0 \times C_{CO_2}^0 - G_T \times C_{CO_2}^T}{G_0 \times C_{CO_2}^0} \times 100$$

$$= \left(\frac{G_{HCO_2} \times C_{CO_2}^{HCO_2}}{G_0 \times C_{CO_2}^0} + \frac{G_{LCO_2} \times C_{CO_2}^{LCO_2}}{G_0 \times C_{CO_2}^0} \right) \times 100 \dots (1)$$

- G_0 : 混合ガス入口流量(Nm³/h)
- G_T : 処理ガス流量(Nm³/h)
- G_{HCO_2} : 回収ガス流量(Nm³/h)
- G_{LCO_2} : 放散ガス流量(Nm³/h)
- $C_{CO_2}^0$: 混合ガス中の CO₂ 濃度 (vol.%)
- $C_{CO_2}^T$: 処理ガス中の CO₂ 濃度 (vol.%)
- $C_{CO_2}^{HCO_2}$: 回収ガス中の CO₂ 濃度 (vol.%)
- $C_{CO_2}^{LCO_2}$: 放散ガス中の CO₂ 濃度 (vol.%)

$$S.F. = \frac{(n_{HCO_2}^{slurry} + n_{LCO_2}^{slurry}) \times n_{H_2}^{gas}}{n_{CO_2}^{gas} \times (n_{HH_2}^{slurry} + n_{LH_2}^{slurry})} \dots (2)$$

- n_{HH_2, HCO_2}^{slurry} : 回収ガス中のモル数(H₂ 又は CO₂)(mol)
- n_{LH_2, LCO_2}^{slurry} : 放散ガス中のモル数(H₂ 又は CO₂)(mol)

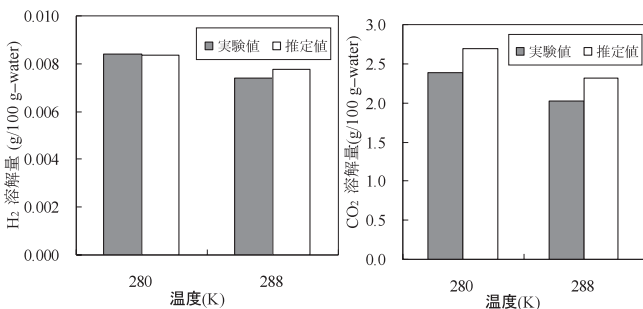


図4 H₂ 及び CO₂ の溶解量の実験値と推定値の比較
Comparison between Experimental Value and Calculated Value of H₂ and CO₂ Solubility

n_{H_2, CO_2}^{gas} : 処理ガス中のモル数(H₂ 又は CO₂)(mol)

また、ガス流量と原料水流量の比である気液比は、式(3)より算出した。気液比が大きいことは、ガスに対して水の流量が少ないことを意味する。

$$\text{気液比} = \frac{G_0}{L} \times 1000 \dots (3)$$

L : 原料水流量(m³/h)

生成槽へ供給される液中のガス溶解量は、溶解槽の圧力と処理ガス組成より求めた各ガスの分圧及び温度から、ハイドレート平衡計算ソフト(HydraFLASH^{®6)})を用いて算出した。実験値と推定値を図4に示す。ここで、溶解量の実験値はH₂ (60 vol.%)・CO₂ (40 vol.%)を用いて、ハイドレート生成工程の生成槽(1)及び(2)で圧力が 6.0 MPa、温度が 280 K、288 K のハイドレートの生成しない条件にて混合ガスと処理ガスの差より求めた。

図4より、実験値と推定値がおおむね一致していることを確認した。

CO₂ のハイドレート転換率は、ハイドレートとして回収した割合を評価するため、式(4)より算出した。ここで、ハイドレート共存下でのガス溶解量は測定が困難であるため、HydraFLASH[®]を用いて求めた。

ハイドレート転換率

$$= \frac{G_0 \times C_{CO_2}^0 - G_{T(H)} \times C_{CO_2}^{T(H)} - L \times c_{water}^{CO_2}}{G_0 \times C_{CO_2}^0} \times 100 \dots (4)$$

$G_{T(H)}$: ハイドレート工程後の処理ガス流量(推定値)(Nm³/h)

$C_{CO_2}^{T(H)}$: ハイドレート工程後の処理ガス中の CO₂ 濃度(推定値)(vol.%)

$c_{water}^{CO_2}$: ハイドレート共存下でのガス溶解量(g/100g·water)

また、ハイドレートの生成駆動力を表す過冷却度は、式(5)より算出した。

$$T_{sub} = T_{eq} - T_{ex} \dots (5)$$

T_{sub} : 過冷却度(K)

T_{eq} : CO₂ 分圧に基づくハイドレート平衡温度(K)

T_{ex} : 実験の生成槽温度(K)

4. 結果及び考察

4.1 気液比の影響

CO₂ 回収率と初期ガス導入時の過冷却度の相関を図5に示す⁷⁾。CO₂ 回収率は、初期ガス導入時の過冷却度が大きくなるほど高くなっている。また、気液比 100 Nm³/m³における初期導入時の過冷却度ごとのガス収支を図6に示す。初期ガス導入時の過冷却度が 6.0 K と -1.2 K の場合を比較すると、6.0 K での回収(0.6 MPa)の割合が 26.4 ポイント高く、ハイドレートによる効果が見られた。なお、本実験では初期導入時の過冷却度が大きい範囲での気液比の影響を確認した。

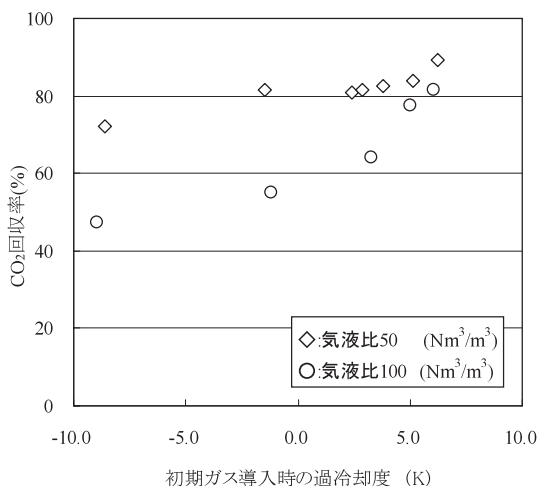


図5 初期ガス導入時の過冷却度とCO₂回収率の相関
Relationship between Supercooling Temperature at Initial Gas Injection and CO₂ Recovery Rate

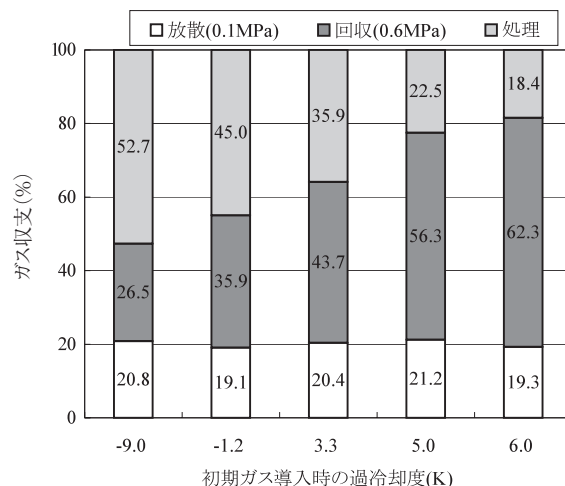


図6 気液比 100 における初期ガス導入時の過冷却度ごとのガス収支
Gas Balance according to Supercooling Temperature at Initial Gas Injection (Gas/Liquid ratio 100)

表2 試験条件と試験結果
Test Conditions

No.	気液比 (Nm ³ /m ³)	生成槽(1),(2)		溶解槽		液滞留時間 (s)	CO ₂ 回収率 (%)	分離係数 (-)
		圧力 (MPa)	温度 (K)	圧力 (MPa)	温度 (K)			
1	25	6.1	274	6.1	278	360	93.5	240.1
2	50						80.7	141.8
3	100						54.6	84.3
4	50		272		275	540	89.1	175.8
5	100						81.5	153.9
6	25	274	360	360	80.2	59.5		
7	50				61.3	52.7		
8	100				46.3	46.4		

・攪拌回転数：1 200 rpm
・分解槽圧力 0.6 MPa，分解槽温度 288(K)

代表的な試験条件と試験結果を表2に示す。表中、No.1～No.5は溶解槽ありの場合、No.6～No.8は溶解槽なしの場合である。No.1～No.5で生成槽へ供給した溶解水中のCO₂溶解量(推定値)を図7に示す。また、ハイドレート生成工程とCO₂溶解工程を組み合わせたCO₂分離性能と溶解工程なしのCO₂分離性能を比較するため、CO₂溶解工程なしの試験も実施した。

試験の結果、気液比が小さくなるにつれてCO₂回収率が増加した。気液比が小さい場合、今回の試験条件では原料水中のCO₂溶解量が飽和濃度まで達しておらず、ガスに対して液の流量が多いためにCO₂溶解量が多くなり、CO₂回収率が高い結果になったと考えられる。ハイドレート生成工程とCO₂溶解工程を組み合わせた場合のCO₂回収率は、溶解工程なしの場合より約10～20ポイント上昇した。この結果より、CO₂溶解工程を組み合わせることは、生成槽内で水へのCO₂溶解量が減るためCO₂分圧の低下を防ぎ、ハイドレート平衡圧力が一定となり、ハイドレートによる分離効果が維

持できたと推定される。また、過冷却度を大きく、かつ液滞留時間を長くした場合はハイドレート生成量が増加し、溶解槽の液相温度を低くした場合はCO₂溶解量が増加する。このため、生成槽とCO₂溶解槽の液相温度を低下させ、かつ液滞留時間を長くしたNo.4とNo.5のCO₂回収率は、No.2、No.3の結果より約8～27ポイント高くなった。

気液比 100 Nm³/m³ のNo.5におけるCO₂回収率が、気液比 25 Nm³/m³ のNo.6におけるCO₂回収率と同様であったことから、少量の水で大量のガスからCO₂を回収できるハイドレート技術の可能性を検証できた。

分離係数にてガス分離性能を評価すると、CO₂溶解工程ありの場合の分離係数は、CO₂溶解工程なしの場合に比べて37.9～180.6と高くなることが示された。

一方、生成槽とCO₂溶解槽の液相温度を低下させた場合の気液比 100 Nm³/m³ におけるCO₂回収率の増加割合は、気液比 50 Nm³/m³ の結果に比べて大きくなった。図7より、溶解水中のCO₂溶解量は気液比が高いほど多く、そのため

生成槽内での CO₂ 溶解量が少なくなり、ハイドレートの平衡圧力が増加することなくハイドレート生成による効果が発現できることが確認された。以上のことより、溶解水中の CO₂ 溶解量はハイドレートの生成に大きく寄与することが分かった。ただし、現在の連続式試験装置の CO₂ 溶解工程における反応形式は、液とガスを同時に供給する並流式であり、CO₂ 分圧の低下に伴い溶解水中の CO₂ 溶解量も減少するため、生成槽内での CO₂ 溶解量が増えてハイドレート平衡圧力が増加し、ハイドレートの生成が起こりにくい状態であると考えられる。この点を改善するためには、液とガスを対向流に供給する反応形式を用いて、溶解水中の CO₂ 溶解量を増加させて、生成槽のハイドレート平衡圧力の増加を防ぎ、ハイドレートの生成量を増加させることで更に性能が向上すると推定される。

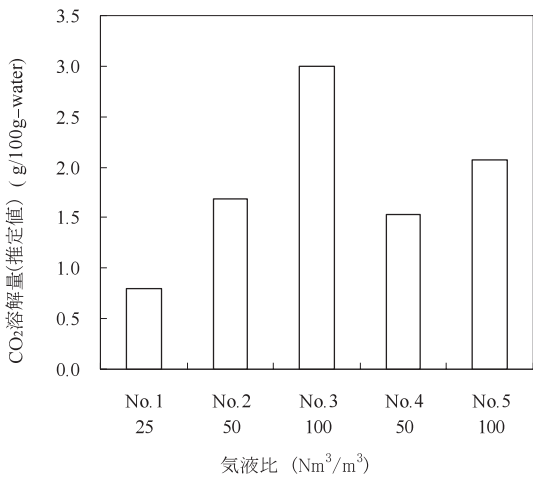


図7 気液比と溶解水中の CO₂ 溶解量(推定値)の関係
Relationship between Gas/Liquid Ratio and CO₂ Solubility(Calculated Value)

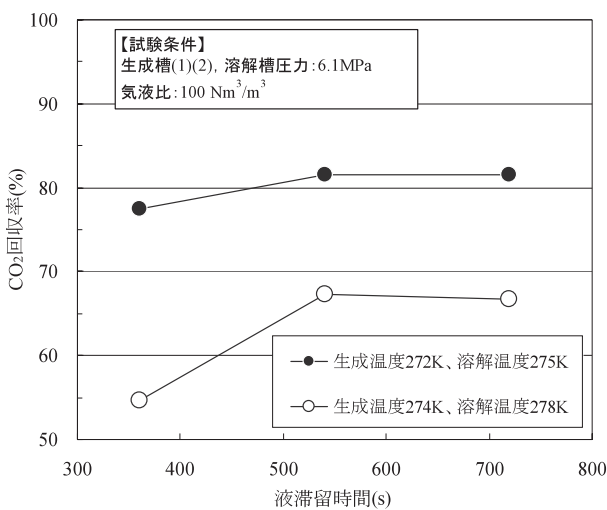


図 H₂・CO₂ 混合ガスからの CO₂ 回収率と液滞留時間の推移
Relationship between Liquid Reaction Time and CO₂ Recovery Rate from H₂・CO₂ Mixed Gas

今回の結果より、CO₂ の回収効果は、気液比が小さい場合では水への溶解によるものが相対的に大きく、気液比が大きいほどハイドレートによるものが大きくなることが分かった。

4.2 液滞留時間の影響

CO₂ 回収率と液滞留時間に伴う推移を図8に示す。また、液滞留時間とハイドレート転換率の関係を図9に示す。CO₂ 回収率及びハイドレート転換率は、液相温度によらず液滞留時間が540s以降大きな差がみられなかった。このことから、本試験装置での液滞留時間は540s程度が必要であることが分かった。ただ、ハイドレート生成の律速因子の一つは、生成熱の除熱である。生成熱をより効率的に除熱できれば、ハイドレート生成が容易になり、生成槽での液滞留時間の短縮が可能になると考えられ、生成槽内の生成熱を効率的に除熱させる検討が必要である。

4.3 気泡放出流量の影響

CO₂ 回収率及び気泡放出流量(推定値)と攪拌回転数の関係を図10に示す。気泡放出流量とは、攪拌翼の先端より放出されるガス量のことであり、生成槽及びCO₂溶解槽内の攪拌方式が内部循環方式で、これらの容積が小さいことから実測できないため推定した値である。

攪拌回転数が400rpm, 800rpm, 1200rpmと高くなるに従い、CO₂ 回収率が上昇した。これは、攪拌回転数の増加に伴い、気泡放出流量が増えて気液接触が良くなったため、ハイドレート生成量が増加した結果と考えられる。

4.4 分解圧力の影響

分解温度が285Kと293Kにおける回収ガスと放散ガスに基づくCO₂回収率への分解圧力の影響を図11, 図12に示す。分解温度285Kにおける分解圧力と放散ガスに基づくCO₂回収率の実測値及び推定値を図13に示す。放散ガス流量の推定値は、分解槽のCO₂分圧・温度条件をもとにHydraFlash[®]よりCO₂溶解量を算出し、溶解したガスが放

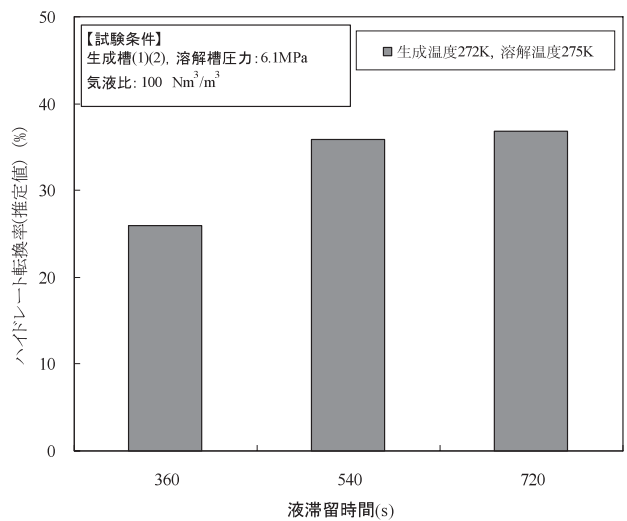


図 液滞留時間と CO₂ のハイドレート転換率(推定値)の関係
Relationship between CO₂ Hydrate Conversion Rate(Calculated Value) and Liquid Reaction Time

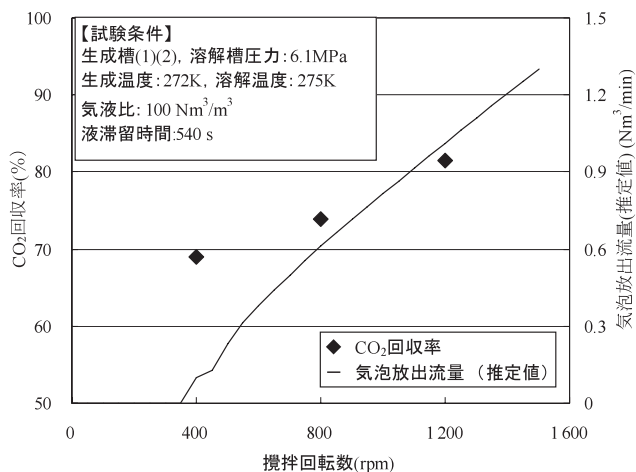


図 10 H₂・CO₂系混合ガスからのCO₂回収率と気泡放出流量の関係
Relationship between CO₂ Recovery Rate from H₂・CO₂ Mixture Gas and Air Bubbles-Releasing by Stirring(Calculated Value)

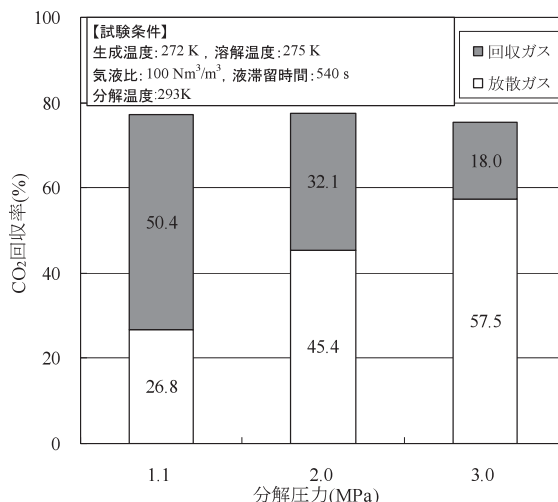


図 12 分解温度 293 K における H₂・CO₂ 混合ガスからの回収ガスと放散ガスに基づく CO₂ 回収率への分解圧力の影響
Effect on Dissociation Pressure and CO₂ Recovery Rate from H₂・CO₂ Mixed Gases based on Recovery Gas and Radiation Gas(under 2 3 K)

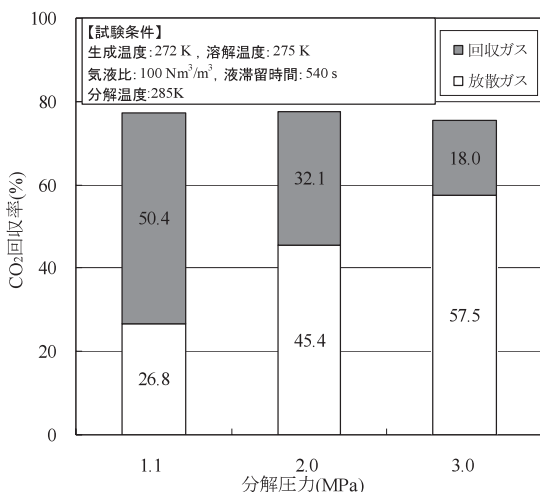


図 11 分解温度 285 K における H₂・CO₂ 混合ガスからの回収ガスと放散ガスに基づく CO₂ 回収率への分解圧力の影響
Effect on Dissociation Pressure and CO₂ Recovery Rate from H₂・CO₂ Mixture Gas based on Recovery Gas and Radiation Gas(under 2 K)

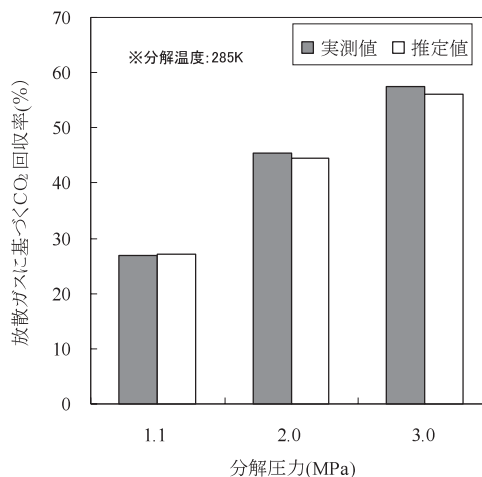


図 13 分解温度 285 K における分解圧力と放散ガスに基づく CO₂ 回収率の実測値及び推定値の関係
Relationship between Experimental Value and Calculated Value of CO₂ Recovery Rate based on Dissociation Pressure and Radiation Gas(2 K)

散するものとして導いた。分解槽の圧力を 0.5 ~ 3.0 MPa まで変化させ、CO₂ 回収率の推移を求めたところ、分解圧力が高くなるに従い、回収ガスに基づく CO₂ 回収率は低下した。図 13 より、実測値と推定値はほぼ一致しており、放散ガス流量が増加して回収ガスに基づく CO₂ 回収率が低下したと考えられる。また、ハイドレートは十分分解しているものと示唆された。なお、分解温度の影響については 285 K と 293 K の間で大きな差はみられなかった。これらの結果より、分解工程において圧力調整により CO₂ を回収できることが分かった。今後は、高圧下での CO₂ 回収率を高めるために、ハイドレート転換率を向上させる検討を行う予定である。

分離性能のまとめ

実験的検討により、以下の知見が得られた。

- ・気液比 25 Nm³/m³ において、水への CO₂ の溶解による効果が大きく、CO₂ 回収率が最も高い。
- ・温度が低く、かつ気液比が大きい場合にハイドレート生成量及び CO₂ 溶解量が多くなり、CO₂ 回収率の増加割合が高くなる。
- ・本試験装置における液滞留時間は 540 s 程度が適切である。
- ・気泡放出流量が高くなると CO₂ 回収率が増加する。
- ・分解圧力が高くなるに従い放散ガス流量が多くなり、回収ガスに基づく CO₂ 回収率が低下する。

6. おわりに

本報では、連続式試験装置を用いてハイドレート技術によるCO₂分離回収の実験的検討を行った。H₂・CO₂の混合ガスからのCO₂回収率は、80～94%であることが示され、IGCC 燃焼前ガスでのCO₂分離に適用可能であることが分かった。また、ハイドレート生成工程とCO₂溶解工程を組み合わせることで、ハイドレート生成が促進され、分離性能が高くなること、さらに、気液比が大きい条件では、ハイドレートによるCO₂回収率の割合が高くなることが分かった。これらの結果より、ハイドレート技術により少量の水で大量のガスからCO₂を回収できる可能性が示された。

今後は、生成槽内の生成熱を効率的に除去する検討とCO₂溶解工程においてガス溶解量の多い溶解水を供給できるように反応形式を改良し、ガス分離条件の最適化の検討を行う予定である。

参 考 文 献

- 1) IEA 編：Energy Technology Perspectives 2010, (2010), IEA
- 2) 松尾．外：NGH PDU の運転研究(第1報) - NGH による天然ガス輸送システムの実証 - , 三井造船技報, 181(2004), p. 50
- 3) 松尾．外：NGH システムのプロセス開発(第2報) -

NGH による天然ガス輸送システムを実証 - , 三井造船技報, 184(2005), p. 38

- 4) 宮川．外：CO₂ 分離回収へのハイドレート技術の適用, 三井造船技報, 203(2011), p. 31
- 5) Praveen Linga, et al. : The clathrate hydrate process for post and pre-combustion capture of carbon dioxide, Journal of Hazardous Materials 149 (2007), p. 625
- 6) Hydrafact : HydraFLASH[®], <http://www.hydrafact.com/software.html>, (2012-2-21)
- 7) 櫻井．外：連続試験装置を用いたハイドレート法による二酸化炭素分離技術の開発, 化学工学会 第76年会

〔問い合わせ先〕

技術開発本部 千葉技術開発センター
TEL 0436 - 41 - 1930 櫻井 聡一郎



櫻井聡一郎



宮川 満



松尾 和芳



加藤 寿仁

マレーシアでバイオエタノール製造の実証試験を実施
- アブラヤシの空果房(EFB)を原料とした世界初のプラントで実証 -



写真1 バイオエタノール製造プラント全景

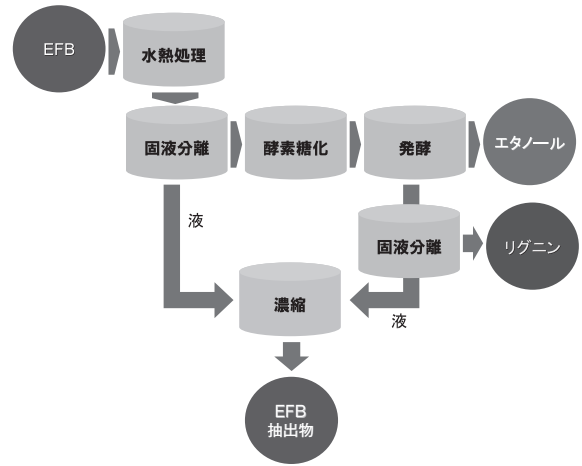


図1 バイオエタノールの製造プロセスフロー

三井造船は、マレーシアのパームオイル産業民間最大手サイムダービー社(Sime Darby Bhd : SD, クアラルンプール市)の研究開発部門であるサイムダービー・リサーチ社(Sime Darby Research Sdn. Bhd : SDR)と、マレーシアの主幹産業であるパームオイルの製造工程で排出される空果房(Empty Fruit Bunch : EFB)を原料として、バイオエタノールを製造する世界初のデモンストレーションプラントを建設し、実証試験を実施している(写真1)。デモンストレーションプラントは、SD テナマラン搾油工場内の敷地に建設し、2011年2月より、1.25トン/日のEFB原料でエタノールの製造技術に係る各種データを取得している。

現在、地球温暖化対策の問題に関心が集まり、再生可能燃料の開発が急務となっている。そうした中、植物など生物由来のバイオ燃料の開発が世界中で試みられているが、従来の可食性植物を原料とするバイオ燃料の製造は、食料との競合という問題を引き起すことが懸念されている。当社が原料としているアブラヤシのEFBから製造されたエタノールは、非可食かつ繊維性のバイオマスを原料とする第2世代バイオ燃料にあたる。

SD及び当社は、2008年から本件に係る事業開発に取り組んできており、デモンストレーションプラントで得られたデータに基づき、早期の商業化プラントの稼働開始を目指している。製造されたバイオエタノールは、バイオエタノール混合ガソリンや、環境に優しい化学原料としての利用が想定されている。

特長

- (1)原料となる EFB は、従来そのほとんどが廃棄物として扱われている未利用バイオマスである。マレーシアとインドネシアは世界のパームオイルの約9割を生産しており、これに伴って排出される EFB は年間4000万トンに達している。バイオエタノール製造の商業化は、この未利用資源である EFB の利活用として有効な手段である。
- (2)デモンストレーションプラントには、インビコン社(Inbicon A/S)のソフトセルロース系バイオマスの水熱法前処理技術及び当社がこれまでに培った独自技術を適用した。本バイオエタノール製造プロセスは、熱水と酵素を使用するシンプルかつ環境に優しい技術である(図1)。
- (3)製造プロセスの特長として、原料バイオマスを熱水により処理し、リグニンの構造を破壊することにより酵素がセルロースに接触できるようにしていること、高い固形物濃度で反応させることにより水や熱の消費量を最小限に抑えていること、処理されたバイオマスの繊維を横型の反応器内で酵素と混合させ、セルロースを低分子の炭水化物に分解して液化させていることなどが挙げられる。
(エンジニアリング事業本部)

〔問い合わせ先〕

事業開発部

TEL 043 - 351 - 9112 塚田 俊美

水分自動制御型高効率脱水機“スマートプレス”
- 自動制御により安定した低含水率処理を実現 -



写真1 脱水機本体



写真2 水分計センサの取付状況

表1 “スマートプレス”の主要目

型 式	標準処理量(汚泥濃度1%の場合)	所要動力	概 略 寸 法	概略重量
450 × 3 000 L	40 kg-DS/h(4m ³ /h)	0.75 kW	1 640 W × 4 510 L × 1 670 H mm	3 000 kg
650 × 4 500 L	80 kg-DS/h(8m ³ /h)	0.75 kW	1 990 W × 6 310 L × 2 010 H mm	7 000 kg
750 × 5 000 L	120 kg-DS/h(12m ³ /h)	1.5 kW	2 100 W × 6 810 L × 2 150 H mm	8 000 kg
900 × 5 500 L	160 kg-DS/h(16m ³ /h)	2.2 kW	2 450 W × 7 580 L × 2 400 H mm	10 000 kg
1 000 × 6 500 L	200 kg-DS/h(20m ³ /h)	3.7 kW	2 630 W × 8 680 L × 2 560 H mm	15 000 kg
1 050 × 7 000 L	240 kg-DS/h(24m ³ /h)	5.5 kW	2 730 W × 9 180 L × 2 700 H mm	17 000 kg
1 100 × 7 500 L	280 kg-DS/h(28m ³ /h)	7.5 kW	2 940 W × 9 750 L × 2 730 H mm	19 000 kg

(*)DS: 汚泥乾物量

三井造船環境エンジニアリングは、脱水汚泥含水率を一定に保つ自動制御型高効率脱水機“スマートプレス”を開発し、2012年度から汚泥再生処理センターなどの汚泥処理装置として営業を開始した(写真1)。

“スマートプレス”は、スクリュースプレスの脱水機に脱水汚泥の含水率を連続的に直接測定する水分計を取り付け、脱水汚泥含水率を自動制御する機構を付加したものである(写真2)。

スクリュースプレスは、金属製スクリーンの外筒内に出口側へ向けて容積が漸減する形状のスクリーが設置されており、これを回転させて内容物を圧搾脱水するシンプルな構造であるが、処理対象物の性状変動の影響を受けやすい。従来法では出口圧力(圧搾圧力)などを指標として制御を行っているが、この方法では脱水汚泥含水率を安定して目標値に維持することが難しかった。

“スマートプレス”では、特殊電極式センサにより脱水汚泥の電解電流値を直接連続測定し、脱水汚泥の含水率を演算するとともにフィードバック制御を行う。脱水汚泥の含水率が設定値を超えた場合は、出口圧搾圧力(空気圧)と圧搾時間(回転数)を制御して、常に含水率を目標値以下に維持するように運転する。

特 長

- (1)含水率を連続的に測定できる特殊電極センサにより、脱水汚泥の含水率をリアルタイムで測定できる。

- (2)測定した電解電流値(含水率)を用いて脱水機を制御し、目標値以下の含水率を維持できる。
 (3)処理対象物に応じた最適なスクリー形状を採用して、閉塞が少なく効率の高い脱水が可能である。
 (4)シンプルな構造で交換部品が少なく、維持管理も容易なスクリュースプレスの長所をそのまま活かしている。

当社は、“スマートプレス”を用いて実際の汚泥再生処理施設で試験を実施し、長期間の安定した運転を行い、脱水汚泥含水率を目標値以下に維持できることを実証した。この結果は、2011年度に一般財団法人日本環境衛生センターにて確認され、性能調査報告書として発行された。この成果により“スマートプレス”は、汚泥再生処理分野で近年増えている、固液分離した汚泥を助燃剤として再資源化する施設などのほか、し尿処理などで発生する余剰汚泥の脱水にも適用可能であることが示された。

“スマートプレス”の主要目を表1に示す。今後は、資源循環分野などへの省エネルギー高効率脱水機として、幅広く営業活動を展開する。

(三井造船環境エンジニアリング株式会社)

〔問い合わせ先〕

環境ソリューション事業本部 営業統括部
TEL 043 - 351 - 9163 菅野 寛樹

新型模型船 NC 削成システムの導入
- 模型船製作工程を大幅に短縮化 -

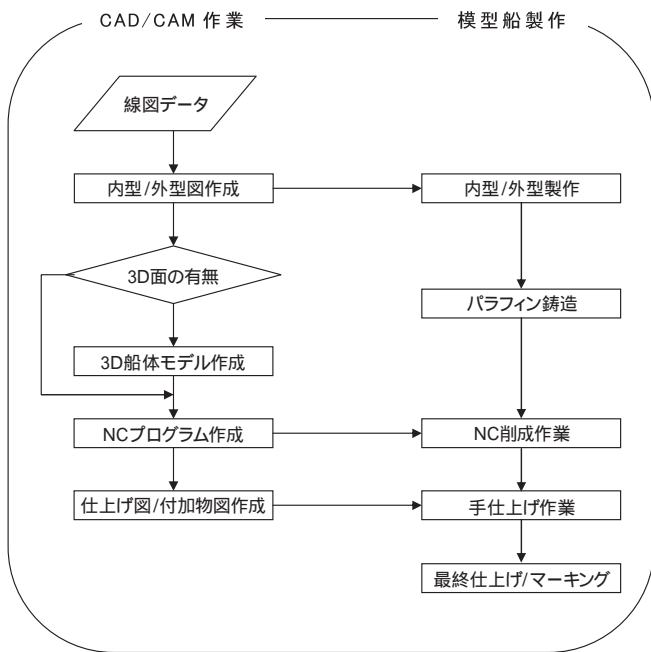


図1 模型船製作の流れ

三井造船昭島研究所は、1978年の創立時に導入した模型船 NC 削成機の老朽化のため、最新鋭の5軸 NC 削成機を導入し、模型船製作工場に設置した(写真1)。また、新型 NC 削成機の導入に伴い、CAD/CAM も更新して、新たな模型船 NC 削成システムを構築した(図1)。

新しい NC 削成機は、切削速度及び切削精度が格段に向上するとともに、カッターとの干渉等により切削できなかった2軸船の船尾など、複雑な形状も対応可能である(写真2)。さらに、新型模型船 NC 削成システムとの組み合わせにより、模型船製作工程を大幅に短縮化した。

当研究所は、大水槽、小水槽、潮流水槽など六つの水槽施設と風洞施設を所有している。本削成機で製作した模型はこれらの施設で使用され、新たな製品開発に貢献する。

システム構成及び主要目

(1) 模型船 NC 削成機

- ・主軸ヘッド：5軸制御式マシニングヘッド×1頭
- ・加工可能な最大模型船：長さ10m×幅2m×高さ1m
- ・最大切削送り速度：20m/min
- ・最大回転軸速度：5400rpm
- ・主軸スピンドル回転数：200～20000rpm

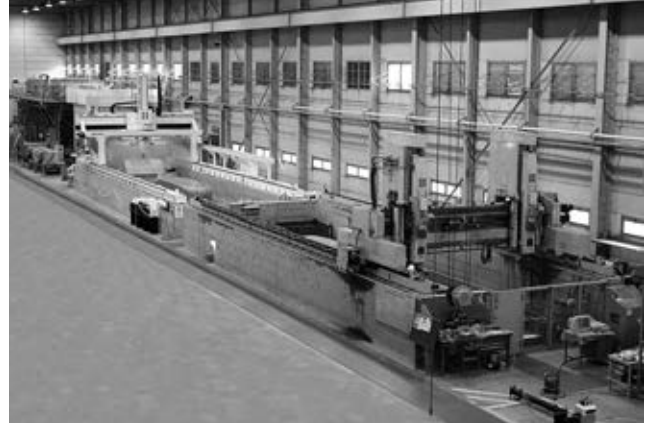


写真1 模型船製作工場
旧型(手前)及び新型模型船 NC 削成機(奥)

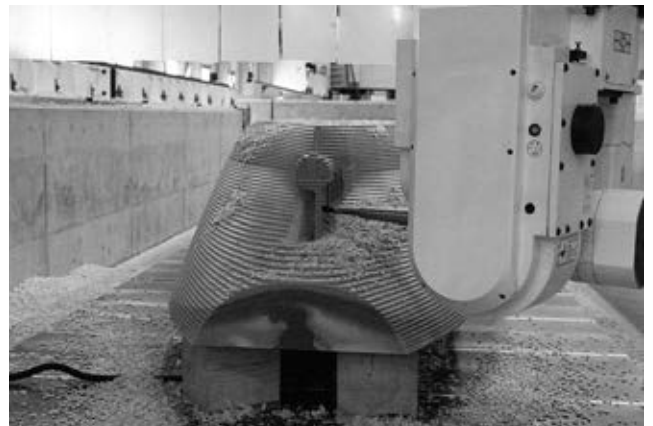


写真2 荒加工中の模型船 NC 削成機

- ・加工材：木材、ケミカルウッド、パラフィン、FRP、硬質ウレタン
- ・ウェブカメラ監視装置付き

(2) ソフトウェア

- ・Hyper CAD Ver.2010：内型及び外型図面作成、3D船体モデル作成、仕上げ図及び付加物図作成
 - ・Hyper MILL ver.2010 CAM：NCプログラム作成
- (株式会社三井造船昭島研究所)

〔問い合わせ先〕

試験生産技術部

TEL 042-545-3120 五十嵐 和之

新鋭曳船 相次いで竣工

- 日本海曳船株式会社向け“萬代丸”，“なえば丸” -



写真1 海上公試中の“萬代丸”



写真2 放水試験中の“なえば丸”

三井造船グループの新潟造船は、日本海曳船株式会社向けに新潟工場で建造していた4200馬力タグボート“萬代丸”（写真1）を5月16日に、3600馬力タグボート“なえば丸”（写真2）を7月17日に相次いで引き渡した。

両船は、日本海側最大の国際物流・国際交流の拠点として港湾施設の整備が進み、アジア大陸諸国との交易拡大とともにその重要性が高まっている新潟港に配備される。さらに、最近増加している大型のLNG船のエスコートなどにも対応するため、高度な消火機能が設備され、航行上の更なる安全を確保するものと期待されている。特に“萬代丸”については、既存の4000馬力型と同寸法でありながら、4200馬力の主機関を装備することで、より一層の運動性能を高めている。

日本海曳船株式会社所有船は両船を含めて11隻となり、新潟港内外の安全の寄与に大きな期待が寄せられている。

特長

- (1) 360度旋回可能な最新型のニイガタZペラを搭載し、全方位に操船が可能であるとともに、日本海特有の猛烈な北西季節風に対しても、十分な操船性・復原性・耐航性を考慮した設計がなされている。
- (2) 有資格消防船として、操舵室からの遠隔操作が可能な泡・粉末消火設備を装備しており、特に“なえば丸”に装備した伸縮式消防設備は、高さ23メートルから粉末消火剤を噴射することが可能である。
- (3) 危険物積載船及び巨大船入港時の側方警戒船としての資格も取得している。船舶の海難事故時の油流出時などにも対応可能な油処理装置を搭載した防災船でもあり、曳航・係船作業のみならず、港湾・沿海の安全確保に対応した多機能船である。

主要目

	“萬代丸”	“なえば丸”
資格		JG第4種船
航行区域		沿海
最大搭載人員：		15名
全長：	34.55 m	32.30 m
登録長：	30.25 m	27.92 m
垂線間長：	29.00 m	27.00 m
型幅：	9.70 m	8.80 m
型深さ：	3.95 m	3.50 m
計画満載喫水：	2.95 m	2.60 m
総トン数：	196	158
燃料油タンク容積：	72.13 m ³	45.96 m ³
清水タンク容積：	19.93 m ³	19.92 m ³
パラスタタンク容積：	43.37 m ³	18.75 m ³
潤滑油タンク容積：	5.86 m ³	4.03 m ³
泡原液タンク容積：	9.81 m ³	6.34 m ³
泡原液タンク容積：	2000	2000
試運転最大速度：	14.60 ノット	14.43 ノット
ポラードブル：	556.0 kN (56.7 tf)	471.7 kN (48.1 tf)
主機関：	新潟 6L28HX × 2 1544 kW (2100PS) × 750 min ⁻¹	新潟 6L26HLX × 2 1323 kW (1800PS) × 750 min ⁻¹
推進器：	新潟 ZP-31 × 2 直径 2200 mm	新潟 ZP-21 × 2 4翼固定ピッチコルトノズル付 直径 2000 mm
発電機：	AC225 V, 60 Hz, 100 kVA × 2	
発電機関：	88.3 kW (120PS) × 1800 min ⁻¹ × 2	

(新潟造船株式会社)

〔問い合わせ先〕

業務部

TEL 025 - 222 - 6121 本多 宏行

尾道系崎港 港湾修築工事
- 尾道系崎港松浜ジャケットの製作 -



写真1 完成したジャケットを台船に搭載している状況

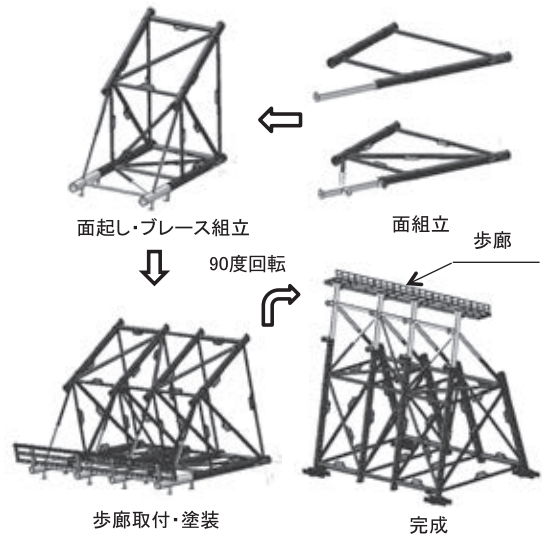


図1 ジャケット製作フロー

三井造船は、広島県東部建設事務所三原支所から尾道系崎港松浜ジャケット3基を受注した。製作は当社大分事業所において2011年9月より開始、2012年3月に完成したジャケットを台船に搭載し系崎岸壁へ輸送、仮置きを行い工事が完了した(写真1)。

本ジャケットは、系崎港松浜地区の静穏域を確保する防波堤として整備されるものであり、主要な上部の鋼構造部であるジャケットを工場製作することにより、大型のブロックとして一括で架設でき、品質確保と現地工事の短縮に寄与する。

ジャケット構造は、鋼管トラスを鋼管杭で海底に固定した構造形式であり、防波堤以外に護岸や棧橋、橋梁基礎などにも用いられ、軟弱地盤や大水深域での築造に適し、耐震性にも優れている。

今後、本ジャケット前面には防波版が取り付けられ、海中部の仮受け杭にジャケット据付後、鋼管杭を打ち込み、ジャケットと結合して防波堤が完成する。

当社では、広大なヤードと多様な屋外設備を有する当社大分事業所の特長を最大限に活用し、港湾や漁港の多様なニーズに対応した海洋構造物の開発・提供を目指していく。

特長

本工事では、品質と耐久性や屋外高所での安全性・施工性を向上させるため、特に以下の項目について重点管理と施工を行った。

- (1)鋼管接合部の品質確保のためパイプコースターによる切断精度と作業効率の向上

- (2)溶接管理モニタによる溶接施工記録の確認
- (3)結露診断計による塗装面の乾燥状態管理
- (4)屋外溶接作業での防風設備設置
- (5)ジャケット製作フローの3D化を行い、部材干渉チェックと組立要領の事前検討拡充
- (6)高所での溶接作業軽減のため、歩廊取付・塗装完了後にジャケット本体を90°回転させ完成(図1)

主要目

- 製作基数 : 3基(各ジャケット名 J2, J3, J4)
- J2 ジャケット(98 t)
長さ×幅×高さ : L23.5 × W15.45 × H22.4(m)
- J3 ジャケット(99 t)
長さ×幅×高さ : L23.5 × W15.6 × H22.7(m)
- J4 ジャケット(102 t)
長さ×幅×高さ : L23.5 × W16.1 × H23.7(m)
長さ、幅は主部材鋼管の中心間隔とし、()内は製作鋼重を示す。

- 工事範囲 : ジャケットの製作・輸送・仮置き
- 工期 : 2011年9月～2012年4月

(三井造船鉄構エンジニアリング株式会社)

〔問い合わせ先〕

- 技術本部 大分沿岸技術室
- TEL 097 - 593 - 5716 西 和宏

みなと振興 第 2021-0-004 号 福良港 浮棧橋製作工事
 - 福良港浮棧橋(津波対応型)の製作・進水・曳航 -



写真1 浮棧橋全景

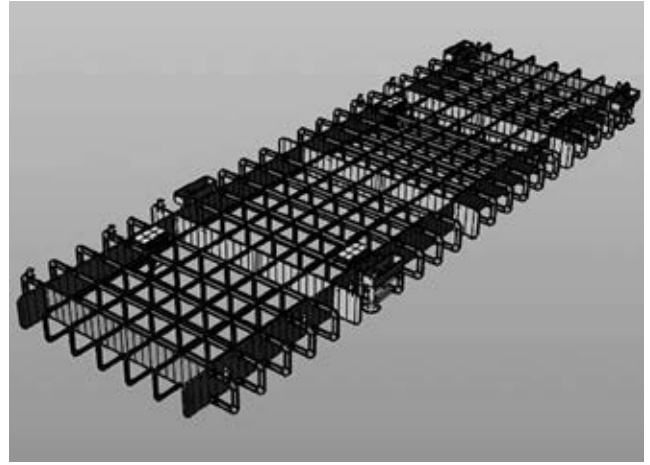


図1 骨組図

三井造船は、兵庫県淡路県民局から福良港浮棧橋の浮体製作工事を受注し、当社大分事業所にて2011年3月製作を開始、2012年3月、進水・曳航・現地引渡を行い工事が完了した。本浮棧橋は、津波対応型 PC ハイブリッド浮棧橋として、兵庫県福良港に整備されたものであり、災害時、海上からのアクセスの拠点となることが期待されている。常時は、鳴門海峡クルージング船(“ 咸臨丸 ”、“ 日本丸 ”)の発着場として利用される。(写真1)

当社の PC ハイブリッド浮棧橋は 700 基を超える製造実績を有し、水槽試験及び高度シミュレーション計算による卓越した技術で浮体の動揺を予測し安全な係留システムも提供している。また、東日本大震災に伴う津波にも耐えた実績もあり、各方面から高い評価を受けている。

海に囲まれた我が国において、港湾や漁港の多様なニーズに応えるため、当社はこれまでに培った能力と技術力を発揮して、これからも社会に役立つ浮棧橋の開発と提供を目指していく。

特長

- (1)本浮棧橋は、従来の設計条件に加え、津波条件として水位、流速を考慮して、設計されている。
- (2)浮体内部は、倉庫として利用することが可能で、大型のハッチ、階段、通風筒を配備している。照明設備等を整備した後、災害時の緊急物資等の格納庫として使用される予定である。
- (3)浮体内部区画は、津波来襲時に外周全てが浸水したとしても、安定性能を満足する区画割りとなっている。(図1)
- (4)外壁には、軽量コンクリート(比重 1.88)が採用され、従来の浮棧橋より吃水が小さく、津波による流速の影響

を低減している。

- (5)2012 年度には、上屋が設置される予定で、その基礎が、デッキ上に備えつけられている。

主要目

- 工事名：福良港 浮棧橋製作工事
 - 発注者：兵庫県 淡路県民局
 - 工事場所：兵庫県南あわじ市福良
 - 工事範囲：浮棧橋の設計照査～製作～曳航
 - 工期：2011年3月～2012年3月
 - 浮棧橋(PCハイブリッド製)
 - 長さ×幅×高さ：L60×W20×H2.9(m)
 - 排水重量：2348t
 - 係留方式：チェーン係留
 - 装備品：内部倉庫(ハッチ、階段、通風筒)
船舶係留用フェンダー
係留ビット、チェーン碇係装置
車止め、上屋基礎
 - 波浪条件：有義波高 0.9 m, 周期 11.4s
 - 上載荷重：5.0 kN/m², T-250kN
 - 対象船舶：383GT(“ 咸臨丸 ”、“ 日本丸 ”)
 - 津波条件：津波波高 5.8 m
流速 1.0 m/s
- (三井造船鉄構エンジニアリング株式会社)

[問い合わせ先]

製造本部 大分工場 生産技術部
 TEL 097 - 593 - 5714 川村 善郎

ロングライン・マッチキャスト工法による PC 桁の製作
- 東北縦貫線 -



写真1 端部セグメントの仮置き状況



写真2 標準セグメントの仮置き状況

三井造船グループのドーピー建設工業は、東日本旅客鉄道株式会社から東北縦貫線 PC 桁製作運搬工事を受注し、PC 桁の製作を 2012 年 9 月に完了した。

東北縦貫線は、東海道線東京駅～宇都宮・高崎・常磐線上野駅間を複線軌道で結び、相互直通運転を可能とするものであり、現在通勤時間の混雑が著しい上野駅～御徒町駅間をはじめとして混雑緩和が図られること、乗換の解消などによる速達性・利便性の向上が図られること、首都圏を南北に結ぶ輸送ネットワークの強化が図られ、地域の活性化に寄与すること、などの効果が期待されている。

当社は、東北縦貫線工事のうち、神田駅付近に架設される 17 径間、延長約 500 m の PC 桁を、ロングライン・マッチキャスト工法により製作を行った(写真1, 写真2)。なお、本橋の最終径間の引渡しは、2013 年 1 月の予定である。

特長

- (1) PC 桁は表1に示した 17 橋で、桁長が約 20 m ～ 40 m とさまざまであり、桁長に応じて桁高 2.1 m と 1.7 m の 2 タイプがある。
- (2) 構造形式は単純 PC 一室箱桁橋で、各 PC 桁のブロック割りは、桁長に応じて 1.7 m ～ 2.6 m の長さで、11 ～ 19 のセグメントで構成される(表1, 図1)。
- (3) 標準セグメントは、断面形状が同一な構造となっており、ロングライン・マッチキャスト工法による工場製作に適した形状である。
- (4) 端部セグメントは、運搬時の重量制限から、橋軸直角方向に 2 分割した(図2)。
- (5) JR 営業線(新幹線・在来線)の近傍で組立・架設を行う必要がある(図3)。このため、架設現場での作業を最小限にするために、床版ケーブルの緊張(ポストテンション方式)及び地覆工までを工場製作した。
- (6) 主桁に使用するセメントは早強セメントで、Cbp-14 及び Cbp-17 の設計基準強度は 60 N/mm²、その他のセグ

表1 PC 桁の形状寸法一覧

桁番号	設計強度 (N/mm ²)	桁長 (m)	支間長 (m)	桁高 (m)	上床版幅 (m)	BL 数量 (個)
Cbp-1	50	35.685	34.485	2.100	9.700	17
Cbp-2	50	35.359	34.158	2.100	9.700	17
Cbp-3	50	22.669	21.162	1.700	9.791	11
Cbp-4	50	37.192	35.690	2.100	9.800	17
Cbp-5	50	20.295	18.794	1.700	9.830	11
Cbp-6	50	26.263	24.763	1.700	9.820	13
Cbp-7	50	30.408	28.908	2.100	9.800	15
Cbp-8	50	30.465	28.965	2.100	9.830	15
Cbp-9	50	19.830	18.330	1.700	9.830	11
Cbp-10	50	35.100	33.600	2.100	9.810	17
Cbp-11	50	20.995	19.495	1.700	9.810	11
Cbp-12	50	21.017	19.517	1.700	9.800	11
Cbp-13	50	21.007	19.507	1.700	9.800	11
Cbp-14	60	38.072	36.570	2.100	9.800	19
Cbp-15	50	35.138	33.633	2.100	9.800	17
Cbp-16	50	33.859	32.356	2.100	9.850	17
Cbp-17	60	39.579	38.079	2.100	9.800	19

BL: ブロック

メントの設計基準強度は 50 N/mm² で、合成短繊維を混入して剥落防止対策を施した。

- (7) 主ケーブルは、外ケーブル(19S15.2)と内ケーブル(桁長に応じて 19S15.2, 12S15.2, 12S12.7 の 3 種類から選定)の併用で、製作時に埋設するシースはポリエチレンシースを採用した。
- (8) 床版ケーブルは、標準部 1S21.8、電柱支持梁部 1S28.6 のプレグラウト PC 鋼材を使用し、セメント系または樹脂系プレグラウトを施工時期などにより選定し、採用した。

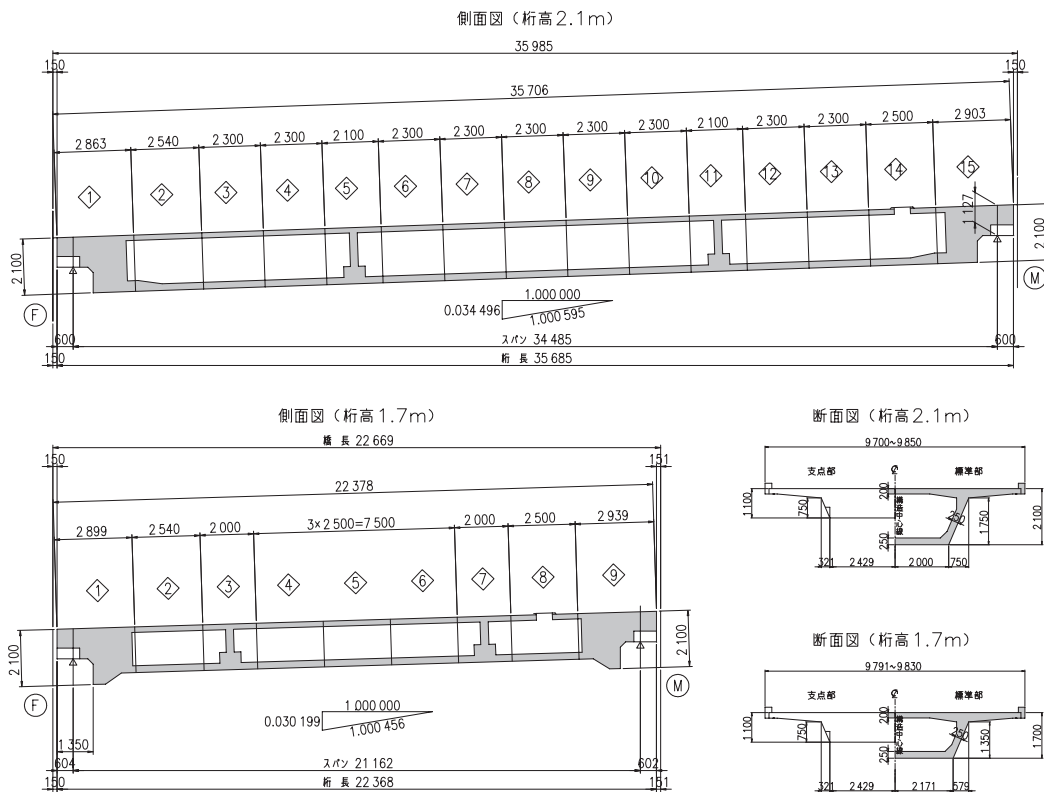


図1 構造一般図

主要目

- 工 事 名：東北縦貫線 PC 桁製作運搬
- 発注機関：東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所
- 構造形式：複線内外ケーブル併用 PC 一室箱形断面単純桁
- 製作場所：群馬県安中市内
- 運搬場所：東京都中央区内
- 工事内容：PC 桁の製作及び運搬
- 製作工法：ロングライン・マッチキャスト工法
- 径 間：17
- セグメント総数：249
- 全 長：約 500 m

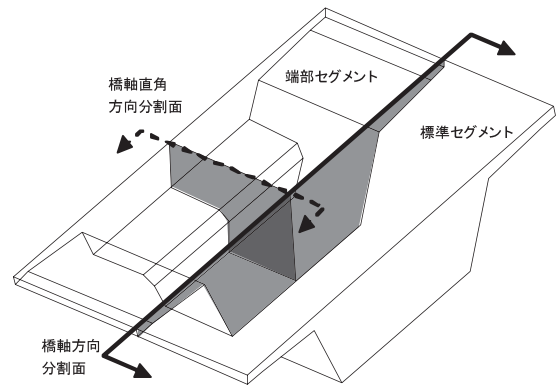


図2 端部セグメントの分割概略図

(ドービー建設工業株式会社)

[問い合わせ先]

技術部
TEL 03 - 3918 - 6176 立神 久雄

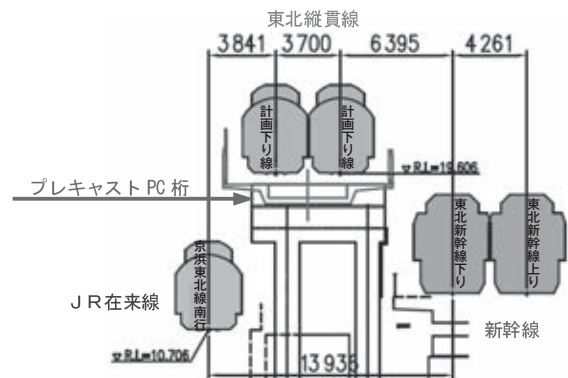


図3 東北縦貫線の断面図

新型交通信号用非常用電源装置を開発・納入
- 全国初のハイブリッド方式 -



写真1 新型非常用電源装置設置状況

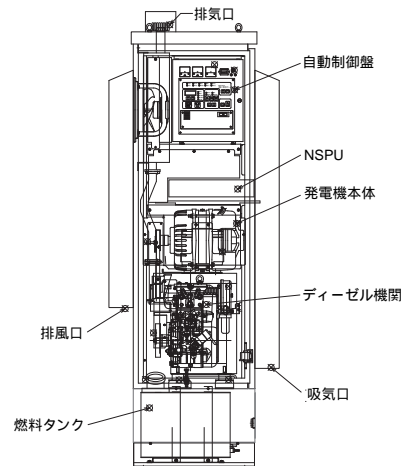


図1 装置構造図

三井造船マシナリー・サービスは、全国初のハイブリッド方式の交通信号用電源装置を開発し、2012年6月に1号機を宮崎県警察本部に納入した(写真1)。本電源装置は、発電機とバッテリーを併用したハイブリッド方式で、従来の発電機のみで構成していた装置では、震災等で停電した際に、非常用発電機が稼働するまでの30秒～1分ほど間の信号無点灯時間があつたが、これをなくすことを可能とした。

1995年1月の阪神・淡路大震災及び2011年3月の東日本大震災をきっかけとして、交通信号機に対する非常用電源設備の重要性が今までに増して見直されている。多くの交通信号機は商用電源を使用しているため、災害発生時などの停電時には、信号灯の滅灯が避けられない。その結果、交通の安全確保が出来なくなり交通渋滞を引き起こすとともに、パニックの発生が危惧される。

このような事態を避けるため、都市部の主要な交差点には非常用電源装置として、非常用ディーゼル発電システム、リチウムイオン電池システム及び燃料電池システムなどが開発・投入されてきたが、それぞれ一長一短があつた。当社は、これらの長所を取り入れたハイブリッド式非常用電源装置を開発し、実証試験を経て、停電時、無瞬断で3日(72時間)に亘り長期間連続して点灯可能な交通信号機を全国で初めて誕生させた。

特長

- (1)当社が永年にわたり供給してきたディーゼル発電装置と最新の無瞬断電源ユニット(Non Stop Power Unit: NSPU)を用いてハイブリッド構成とした。
- (2)ハイブリッド式非常用電源装置を実現することにより、災害発生時や停電時の緊急性を伴う非常時に、無瞬断で且つ安定した電源を即座に長時間給電することを可能とした。
- (3)従来の電源設備の代替も可能とするため、縦型5層方式を採用し、最下部に燃料タンク、第2層にディーゼル機関、第3層に交流発電機、第4層にNSPU、最上部に自動制御盤を配置する構造とした(図1)。
- (4)ハイブリッド式非常用電源装置は、通常時は商用電源から

受電し、信号制御器へ電力を供給する。NSPUは、停電時においても信号制御器へ十分電力を供給する能力を有し、一定時間後には自動的に起動するディーゼル発電装置から受電する。商用電源復旧後には、交通信号機を停止させることなく、NSPUへの受電を自動的に商用電源に切り替える。

主要目

外形寸法	: 2 145 H × 840 W × 620 D mm
発電装置制御方式	: 全自動方式
乾燥重量	: 約 490 kg
NSPU	: 1 kVA, AC100 V
発電機	
出力	: 1 kVA
電圧	: AC100 V
電流	: 10 A
相線数	: 単相 2 線
周波数	: 50 Hz 60 Hz
回転速度	: 3 000 min ⁻¹ 3 600 min ⁻¹
力率	: 70%

ディーゼル機関

形式	: 空冷式ディーゼル機関
出力	: 2.9 kW
気筒数	: 単気筒
内径×行程	: 72 × 68 mm
使用燃料	: ディーゼル軽油
燃料タンク容量	: 48
連続運転時間	: 72 時間
始動方式	: セルモータ

(三井造船マシナリー・サービス株式会社)

〔問い合わせ先〕

営業本部

TEL 03 - 6806 - 1075 木村 重昭, 宮尾 忠男

大分事業所でメガソーラー（大規模太陽光発電施設）を建設 - 三井不動産と共同で売電事業を開始 -



三井造船株式会社と三井不動産株式会社（社長：菰田 正信，本社：東京都中央区）は共同で、三井造船大分事業所（大分県大分市日吉原）内に、約17 MWのメガソーラー（大規模太陽光発電施設）を建設し、発電した全量を九州電力に売電する事業を開始します。本事業は、2012年7月から施行された固定価格買取制度を活用し、当社として初めてメガソーラー発電事業に参入するものです。

三井造船の売電事業は他に千葉事業所（千葉県市原市）に於いて日本最大規模となる49,900 kWのバイオマス発電設備や風力発電（1,500 kW）設備が稼働しています。

事業概要

事業名称：三井造船・三井不動産大分太陽光発電事業
事業形態：共同事業。三井造船 51%，三井不動産 49%
発電能力：約17 MW
設置場所：大分県大分市日吉原 3 当社大分事業所内

工期：着工 2012年10月 完工 2013年11月
運転開始：2013年12月
事業期間：20年間

[担当] エンジニアリング事業本部 環境エネルギー・インフラ営業部 村河 電話：043-351-9262
事業開発本部 営業推進部 陣内 電話：03-3544-3940

三井造船技報編集委員会

委員長 中谷 龍 男
委員 木澤 厚 夫
神 永 肇
倉山 潔
速水 礼
奥 幸之介
穴倉 進
鎌田 勤 也
佐野 健 一
兼本 浩

三 井 造 船 技 報

第207号

2012年（平成24年）10月31日発行
（年3回発行）

発行人 入江 泰雄
発行所 三井造船株式会社 技術開発本部
〒104-8439 東京都中央区築地5丁目6番4号
TEL 03-3544-3266
印刷 株式会社 三造ビジネスクリエイティブ
〒261-7128 千葉県千葉市美浜区中瀬2-6-1

三井造船株式会社

<http://www.mes.co.jp/>

本 社	〒 104-8439	東京都中央区築地 5 丁目 6 番 4 号	TEL 03-3544-3147
幕張センター	〒 261-7128	千葉県千葉市美浜区中瀬 2 丁目 6 番 1	TEL 043-351-8000
北海道支社	〒 060-0807	札幌市北区北七条西 4 丁目 5 番地 1(伊藤 110 ビル)	TEL 011-736-0036
東北支社	〒 980-0811	仙台市青葉区一番町 2 丁目 7 番 17 号(朝日生命仙台一番町ビル)	TEL 022-262-3481
中部支社	〒 450-0003	名古屋市中区名駅南 1 丁目 24 番 30 号(名古屋三井ビル)	TEL 052-582-0145
関西支社	〒 550-0004	大阪市西区靱本町 1 丁目 11 番 7 号(信濃橋三井ビル)	TEL 06-6447-2001
中国支社	〒 730-0051	広島市中区大手町 2 丁目 7 番 10 号(広島三井ビル)	TEL 082-248-0311
呉営業所	〒 737-0045	広島県呉市本通 3 丁目 5 番 18 号(メゾンロイヤル)	TEL 0823-25-7837
九州支社	〒 812-0011	福岡市博多区博多駅前 1 丁目 1 番 1 号(博多新三井ビル)	TEL 092-411-8111
東九州支店	〒 870-0027	大分県大分市末広町 1 丁目 1 番 18 号(ニッセイ大分駅前ビル)	TEL 097-537-9260
沖縄支店	〒 900-0033	沖縄県那覇市久米 2 丁目 4 番 16 号(三井生命那覇ビル)	TEL 098-869-3135
玉野事業所	〒 706-8651	岡山県玉野市玉 3 丁目 1 番 1 号	TEL 0863-23-2010
千葉事業所	〒 290-8531	千葉県市原市八幡海岸通 1 番地	TEL 0436-41-1112
大分事業所	〒 870-0395	大分県大分市日吉原 3 番地	TEL 097-593-3111
技術開発本部			
玉野技術開発センター	〒 706-0014	岡山県玉野市玉原 3 丁目 16 番 1 号	TEL 0863-23-3001
千葉技術開発センター	〒 290-8531	千葉県市原市八幡海岸通 1 番地	TEL 0436-41-1110
基盤技術センター	〒 706-0014	岡山県玉野市玉原 3 丁目 16 番 1 号	TEL 0863-23-3101
昭島研究センター	〒 196-0012	東京都昭島市つつじが丘 1 丁目 1 番 50 号	TEL 042-545-3111
つくば研究センター	〒 104-8439	東京都中央区築地 5 丁目 6 番 4 号	TEL 03-3544-3266
海外事務所	シンガポール, 北京, ジャカルタ, ハノイ, クアラルンプール		
海外現地法人	三井造船ヨーロッパ株式会社(ロンドン)		
	三井造船(U.S.A.)株式会社		
	三井造船(上海)商貿有限公司		

三井造船技報 第 207 号の発行に当たって

「三井造船技報」をご高覧いただき、ありがとうございます。

本誌は、当社が平素ご指導いただいている方々へ、最近の当社の新製品や、それを支える技術についてご紹介するものです。本誌の内容につきましては、更に充実を図る所存ですが、忌憚のない御意見を賜りましたら、大変幸甚です。

送付先の貴組織名、ご担当部署、所在地などにつきましては正確を期しておりますが、変更などがございましたら、以下にご記入の上、FAX でお知らせ頂きたくお願い申し上げます。

敬具

キ リ ト リ 線

FAX : 03 - 3544 - 3125

三井造船株式会社 技報編集委員会 事務局 行(TEL. 03 - 3544 - 3266)

三井造船技報 送付先の確認と第 207 号へのご意見等について

1. 送 付 先 : 従来通り 変更 削除 (いずれかに V を付けてください)

a) 旧送付先

所在地 〒 _____

組織名称 _____

担当部署 _____

旧送付先は、現在の宛先ラベルのコピーをここに貼付して頂いても構いません。

b) 新送付先

所在地 〒 _____

組織名称 _____

担当部署 _____

ご担当者 _____

TEL No. _____

FAX No. _____

2. 今後の編集に反映させていただくため、下記アンケートにご協力をお願いします。

(1) 本号で興味のある記事をお知らせください。(最初のページ No. で可。複数回答可)

技術論文・報告では

製品・技術ニュースでは

その他の記事では

(2) その他、ご意見・ご要望あれば、お聞かせください。

キ
リ
ト
リ
線

主要営業品目

船舶・艦艇事業本部 TEL 03-3544-3318 FAX 03-3544-3031

液化天然ガス（LNG）運搬船，液化石油ガス（LPG）運搬船，原油輸送船，石油精製品運搬船，ばら積貨物船，オープンハッチ型貨物船，鉱石運搬船，石炭運搬船，コンテナ船，自動車運搬船，FSO，FPSO，超高速貨物船，超高速カーフェリー，各種特殊船

修繕船，各種改造船工事，M & R エンジニアリング

護衛艦（DD），潜水艦救難母艦（AS），潜水艦救難艦（ASR），音響測定艦（AOS），輸送艦（LST），補給艦（AOE），掃海母艦（MST），海洋観測艦（AGS），巡視船，練習船，海洋気象観測船，漁業調査船，漁業取締船，海洋調査船，研究調査船，物理探査船，環境整備船，視察船，測量船，交通艇，消防艇，高速旅客船，深海探査ロボット（AUV，ROV），小型水中ロボット，水道管点検ロボット

自動艦位保持装置（DPS），システム操船装置，艦橋情報表示装置（ABS / IBS），舵減揺装置，船体運動状態表示装置（SMACS），航海情報表示装置，フィンスタビライザー，中折式デッキクレーン，赤外線低減装置，弾薬搭載機材，補機制御表示装置，機関操縦装置，水中放射雑音シミュレータ，防火防水実習場，各種訓練水槽，操船シミュレータ

水中ロボット / 水道管点検ロボットを用いた点検サービス

橋梁，ハイブリッド構造物（浮防波堤，浮消波堤，浮棧橋，浮体式係船岸，ケーソン），海洋構造物（シーバース，ケーソン，沈埋函，ジャケツ），浮体式海洋設備

機械・システム事業本部 TEL 03-3544-3950 FAX 03-3544-3055

船用ディーゼル機関

往復動圧縮機，バイナリー発電設備，蒸気タービン，炉頂圧回収タービン，軸流・遠心性圧縮機

鍛造前誘導加熱装置（ビレットヒータ，バーヒータ，ピンヒータ他），鉄鋼・非鉄分野向誘導加熱装置（薄板加熱装置，銅管焼鈍装置，線材加熱装置），高周波電源装置（PWM インバータ，サイリスタインバータ，トランジスタインバータ，ゾーンコントロール用電源）

遠隔操作マニピュレータおよびその周辺機器，センシング機器（地中埋設物・建築物探査レーダ，太陽追尾採光システム，複合材剥離検査器），レーダ探査サービス，水理実験設備，塔，槽，熱交換器，回転式乾燥機

IT を活用した各種設備・機器のリモートモニタリングサービス・診断サービス・情報サービス，各種設備・機器の包括ノ一括メンテナンスサービス，各種技術サービス（運転及びメンテナンスにかかわる技術指導・工事指導・工事施工），LSS（ライフサイクルソリューションサービス：陸・船用ディーゼルエンジン，ガスタービン，各種ボイラ，プロセス用圧縮機，蒸気タービン発電設備，炉頂圧タービン発電設備，プロセス機器，誘導加熱装置，各種クレーンの保守，改造用部品・機器の供給，性能改善・改造工事・延命工事などのエンジニアリング・サービスと施工）SiC ウェハー，CVD-SiC コーティング，SiC 製半導体装置用部品

岸壁用コンテナクレーン，ヤード用コンテナクレーン，船用ガントリークレーン，ローダー，アンローダー（連続式，グラブバケット式），ジブクレーン，天井クレーン，コンテナターミナルマネジメントシステム

エンジニアリング事業本部 TEL 043-351-8000 FAX 043-351-8111

プラントのエンジニアリング及び建設工事（石油化学，化学繊維，合成樹脂，石油精製，ガス製造・精製，無機化学，化学肥料，石炭化学，発酵関連，ファインケミカル，代替エネルギー関連），プラント要素技術（加熱炉，分離炉，分解ガスクエンチャー，高粘度流体脱揮装置，PSA 装置），エンジニアリング支援システム，フィージビリティスタディ，プラントメンテナンス，SDM 工事

三井リサイクリング 21（キルン式ガス化溶解システム），廃棄物処理関連（流動床式焼却炉，粗大ごみ処理施設，リサイクルセンター，加熱脱塩素化装置，ダイオキシン分解触媒，炭化炉，PCB 処理），ガス処理関連（脱塩，集塵）

水処理関連（産業排水，汚泥），ガス処理関連（排煙脱硫，排煙脱硝，脱臭），廃棄物再資源化システム（焼酎廃液，有機性廃棄物からのメタン発酵，コンポスト及び乾燥装置），バイオガスプラント（生ごみ・汚泥バイオガスプラント，油温減圧乾燥式食品廃棄物再資源化システム，家畜糞尿再資源化システム）

ガスタービン発電設備，ガスエンジン発電設備，ディーゼルエンジン発電設備，太陽熱発電設備，各種コージェネレーションプラント

海外土木・建築工事全般，特殊構造物，風力発電設備工事，海外橋梁

事業開発本部 TEL 03-3544-3280 FAX 03-3544-3982

新規事業の発掘・立案・計画・事業化推進，全社の事業開発の統括・推進，社内向け事業開発関連情報の発信，新規事業のフィージビリティスタディ，新規事業のプロジェクトの推進

天然ガスハイドレートの製造・貯蔵・輸送・ガス化技術の開発，ガスハイドレートの特性を生かした各種事業開発，バイオエタノール事業の開発，次世代リチウムイオン電池正極材事業の開発，太陽熱発電事業の開発，波力発電事業の開発，集光型発電事業の開発

船舶運航支援のポータルサービス

CS（顧客満足）向上活動の推進，全社にかかわる営業戦略の企画・立案・推進，各事業本部の営業支援及び社内横断プロジェクトの推進，新規事業の発掘と事業化推進，国内・海外営業拠点（支社，支店，営業所，海外駐在員事務所）の統括と受注活動の推進

海外プロジェクトの推進（ODA 案件），海外新規案件の発掘及び支援

最適航路探索

Fleet Navi

省エネ
燃料消費量の
削減

安全
船体・積み荷への
ダメージ軽減

スケジュール
Just in Time
運航

高度に最適化した航路をシミュレート!

高い航路探索精度

外乱(風、波、海流)による船速低下・船体の経年劣化など、実海域での特性も計算モデルに反映
遭遇する波高、想定される船体動揺(ロール、ピッチ、加速度)にセットされたしきい値を考慮した航路を自動探索

到着時間と外乱に応じた船速配分により燃料消費量を削減

ハリケーン(台風)・前線・海流情報を含んだ長期間の高精度気象予報データを使用

優しい操作性

直感的な操作を可能とする画面デザイン、レイアウトおよび操作方法

航路・船速・時間・燃料消費量だけでなく、ロール・ピッチなどの計算結果をグラフィカルに表示
航路の計算結果を複数同時表示(3ケース)して比較が可能

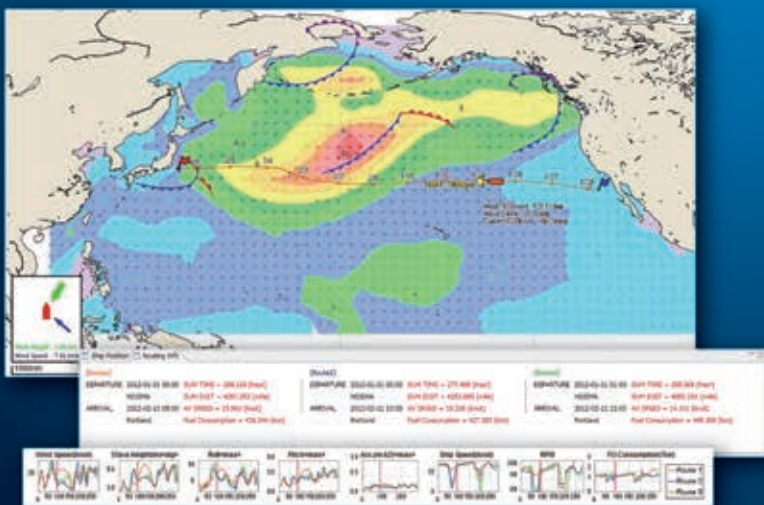
魅力的な価格

乗り換えを容易にするための、トライアルキャンペーンを実施

通信費を抑えるため、本船への気象予報データの送信サイズを最適化



計算条件の入力画面(ETD&ETA、しきい値)



計算結果の出力画面(航路、Summary)