

# “エネルギー新時代”へ向けた技術の取り組み

## Advanced Technologies Towards The New Era of Energy Industries

小幡 康雄 パイプラインシステム技術部 部長  
舩田 直之 ガス技術部 部長  
城尾 和男 エネルギーシステム技術部 部長  
加藤 昭彦 エンジニアリング研究所 エネルギー研究部 部長

Yasuo Obata  
Naoyuki Masuda  
Kazuo Joo  
Akihiko Katoh

当社のエネルギー分野のエンジニアリング事業は、石油および都市ガスなどのパイプラインおよび貯槽を中核として既に 50 有余年の歴史を重ね、我が国の都市エネルギー供給基盤の構築に貢献し続けている。本稿では、今後ともエネルギー分野での市場の要請に応えるべく、近年のエネルギー供給をめぐる社会的環境の変化に対応して開発を進めてきた新技術 / 商品について紹介する。

*NKK has been constructing infrastructures of energy industries over a half century, mainly with pipelines and storages of petroleum, fuel gas, city gas and LNG. Recently, NKK is focusing on the business that provides solutions for potential demands of costumers and markets. In this paper, we introduce our new technologies and Products of Energy Industries Engineering Division.*

### 1. はじめに

当社のエネルギーエンジニアリング事業は、鋼管の製造技術と造船業の溶接技術とを活用して昭和 20 年代に開始したパイプライン建設に端を発している。我が国のパイプラインは、高度成長に伴い急激に増大したエネルギー需要に応える形で発展し、当社も都市ガス輸送幹線や導管ネットワーク、国産天然ガス輸送長距離パイプライン、火力発電所用天然ガス導管や石油パイプライン、および貯槽などを建設してきた<sup>1)</sup>。この間、それらパイプライン建設のためのエンジニアリングの骨格を形成する技術として、埋設時の長期共用期間中の安全性に直接寄与する防食技術の高度化<sup>2)</sup>や、耐震性評価技術の中核とする設計技術<sup>3)</sup>に取り組み、高い信頼性を有するパイプラインを建設してきた。

昭和 40 年代後半からは LNG 輸入の本格化とともに LNG 貯槽建設に取り組み、高い溶接技術に裏付けられたメムレン構造の LNG 貯槽を市場に投入し、都市エネルギー事業者のインフラ整備の一翼を担ってきた<sup>4)</sup>。また、コージェネレーションや地域冷暖房など、エネルギーの効率的利用にも積極的に取り組むなど<sup>5)</sup>、都市エネルギー供給インフラの構築を当社のエンジニアリングの中核事業としてきた。

この間、工期短縮と施工に伴う環境への負荷低減を目指したパイプライン非開削敷設技術弧状推進工法 NK-RAPID 工法、シールド推進工法の無人化を可能とする NK-FAST 工法などを開発してきた<sup>6)</sup>。また、設備・装置の設計・建設だけでなく、パイプラインのモニタリングとリアルタイムシミュレーションによる漏洩検知・運転計画作成など運転支援技術や検査・メンテナンス技術<sup>7)</sup>、LNG 貯槽の運転管理・BOG

処理技術など<sup>8)</sup>、運用支援を目指したソフト関連技術についても積極的に取り組んできている。

一方、深刻化する地球温暖化問題への対応策として、エネルギー利用効率の一層の向上を目指した分散型電源を核とする高効率エネルギー利用システムの開発にも取り組み、Siemens Westinghouse Power 社のセルを用いた固体酸化物形型燃料電池(SOFC)システムを市場へ投入している<sup>9)</sup>。

分散型エネルギーシステムの総合効率向上のために特に都市部に必要な冷熱製造利用については、新規冷熱媒体である水和物スラリの潜熱を利用する空調システムや排熱を利用した効率的な冷熱製造について、国の補助を受けたプロジェクトとして開発を進めている<sup>10)</sup>。また、エネルギー源の多様化や中小・低品位ガス田の利用拡大のために GTL 技術の一つである DME の製造利用技術や、首都圏に立地する製鉄所を有することを背景にエネルギー源としての水素の供給や利用技術などについても積極的に推進中である。

当社は、これからのエネルギー分野のエンジニアリング事業の展開には、

- (1) 低環境負荷・低コストで高い安全性を有する施工技術
- (2) お客様にソリューションを提供するソフトウェア技術
- (3) 高効率な省エネルギー技術

などが不可欠な技術であると考えている。本章では、エネルギーエンジニアリング事業における今後の当社の新しい事業/商品の方向を示すオンリーワン技術として、シールド推進工法の完全無人化を可能とする NK-FAST 工法、パイプラインの計画・運転支援システム Win GAIA、高効率冷熱利用を可能とし高い省エネルギー性を有する水和物スラリを用いた空調システム、省エネルギー性および環境改善性に優れ





Photo 1 Chamber man

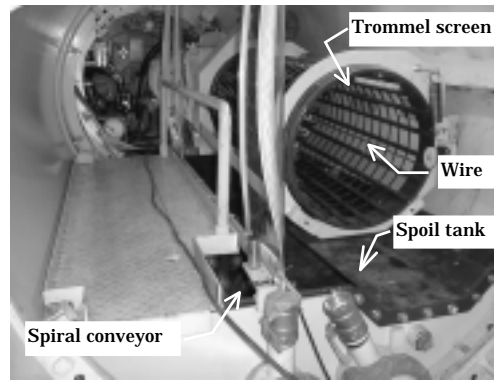


Photo 2 Spoil processing system

NK - FAST システムは排泥処理、排泥輸送制御、状況監視、および情報伝送の4つのサブシステムで構成され、その概要を Fig.2 に示す。

2.3 NK - FAST システム

2.3.1 排泥処理システム

排泥処理システムは従来、チャンパーマンが行っていた礫分別、粘土塊破碎、排泥管への排泥供給という作業を自動化するシステムであり、Photo 2 に示すようにトロンメルとスパイラルコンベアで構成され、これらは地上からの遠隔操作が可能である。

NK - FAST 用に開発したトロンメルは礫を分離するだけでなく、内部に張ったワイヤーによって粘土塊の破碎を行う。トロンメルを通過した小さな礫と破碎された粘土塊を含む排泥はスパイラルコンベアによって排泥管入口まで運ばれる。

2.3.2 排泥輸送制御システム

排泥は一般に粘性が高いため、輸送に寄与する差圧が最大でも1気圧に過ぎない真空吸引輸送では、排泥が管全長を満たす連続輸送は現実的に不可能であり、排泥と空気を交互に吸引輸送するプラグ輸送以外には考えられない。従来工法では作業員が勘と経験に基づいて、排泥を少量ずつ空気とともに排泥管に押し込み、自然発生的プラグ状態で排泥が輸送されている。

NK - FAST システムでは、Fig.2、Photo 3 に示した排泥管先端部の排泥弁と、その直後に接続されている空気吸入管の空気弁を用いて排泥吸入と空気吸入を交互に行い、強制的にプラグを形成する。そして、各弁の開閉時間と周期を制御することにより、排泥輸送量を最大にし、かつ排泥管の閉塞を防止する最適なプラグ輸送を実現する。なお、Photo 3 では制御盤を管内に設置しているが、これを地上に設置すれば排泥輸送を遠隔制御することができる。

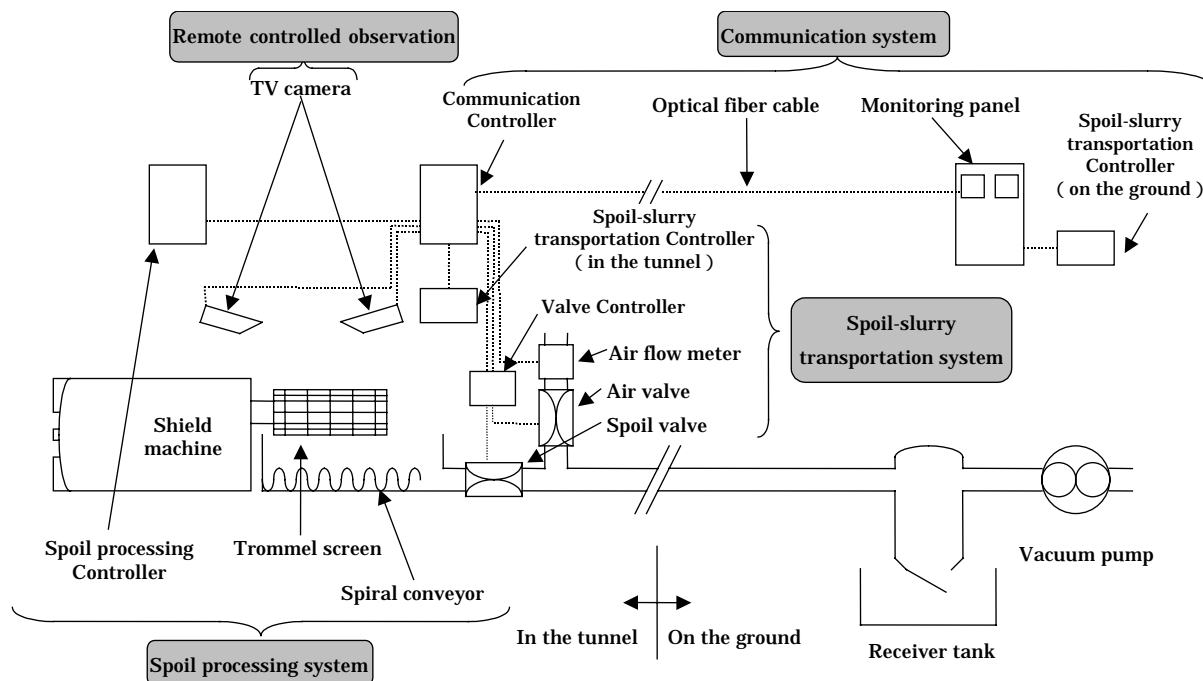


Fig.2 Schematic diagram of FAST system

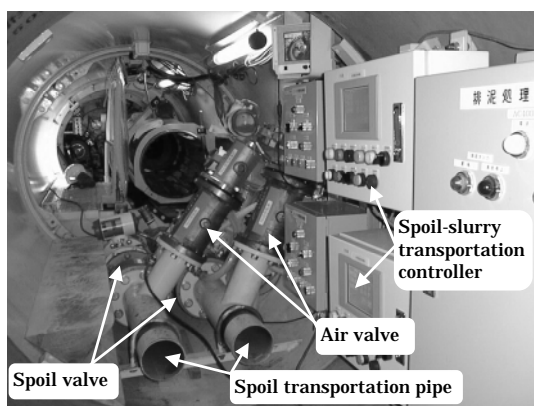


Photo 3 Plug formation equipment and controllers

### 2.3.3 状況監視・情報伝送システム

推進管先端部には Photo 4 に示すように複数の CCD カメラとマイクを設置しており、地上で排泥性状、排泥処理システム運転状況、排泥管への排泥吸入状況などを把握できる。また、地上と管内の間での TV 電話の機能もある。

これらの映像・音声信号と排泥処理や排泥輸送制御に必要な計測信号、制御信号を双方向伝送するために、地上の監視盤と管内の伝送制御盤の間を光ファイバで結ぶ。

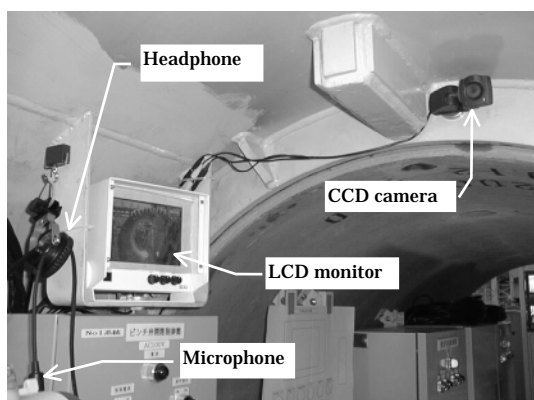


Photo 4 Remote controlled observation system (TV-telephone)

## 2.4 実工事適用

### 2.4.1 湖底下長距離推進

浜名湖の湖底下にガス導管を敷設するための推進工事に本工法を適用した。推進管呼び径は 1200mm、全長は 811m であり、海底（湖底）下推進延長として世界最長記録となる工事である。

従来工法では推進距離 500m 前後から排泥輸送効率が低下し、急激に推進速度が低下すると経験的に言われており、浜名湖でも 450m 付近から従来工法による推進管 1 本当たりの推進所要時間が急激に増加した。しかし、NK - FAST を適用の結果、1 本当たり推進所要時間を従来工法の約 2/3 に短縮することができた。

この工事では掘進機遠隔操作を採用せず、オペレータを推進管先端に配置した。しかし、NK - FAST を適用の結果、従来はオペレータとともに先端で作業していたチャンバマンを不要とすることができた。更に、NK - FAST によって高効率排泥輸送を達成できたため、従来は発進立坑下で排泥をスムーズに通過させるために開閉していた空気吸入バルブの操作要員が不要となった。

また、地上における管内状況の映像と音声による把握、およびオペレータと地上作業員との TV 電話によるコミュニケーションなどによって迅速、的確な作業指示が可能となり、作業効率も向上した。

### 2.4.2 V字型急勾配推進

道路下にケーブルを敷設するための V 字型縦断線形を有する 2 スパンの推進工事に本工法を適用した。推進管呼び径は 1000mm、全長は 575m と 584m である。推進距離はさほどの長距離ではないが、一方のスパンでは地下障害物を避ける必要から ± 約 5% の急勾配となり、緊急時における管内作業員の速やかな退避が困難な恐れがあるため、掘進機の地上遠隔操作と合わせて NK - FAST を適用し、推進中の管内無人化を図った。本工事は泥濃式推進工法としては初の管内無人推進である。

いずれのスパンにおいても管内機器の保守、調整など以外は推進中の管内無人化を実現し、安全性を確保することができた。また、当初懸念された V 字の谷底での排泥管閉塞もなく、順調な排泥輸送を実現した。

## 2.5 まとめ

超長距離推進 NTS 工法用高効率自動排泥システム NK - FAST を開発し、実工事に適用した。その結果、推進所要時間短縮と作業効率向上だけでなく、泥濃式推進工法では初の管内無人推進を実現し、安全性を向上させることができた。

## 3. ガス導管網供給計画・運転支援システム (Win GAIA)

### 3.1 開発の背景

クリーンエネルギーとして一層の成長が見込まれる天然ガス市場においては、本格的な自由化に向け、大幅な規制緩和、法改正などが検討されており、従来の枠組みを超えた大競争時代が到来しつつある。天然ガスを輸送するガス導管網においても、オープンアクセスによる供給ソースの多様化やガス託送などにより、複雑化する運用面への対応が求められるとともに、今後の市場変化に応じた最適な設備計画の検討が必要となる。このような状況のもとで、大規模、複雑化するガス導管網の流送状態を定量的に把握し、適切な余力管理に基づく輸送計画や緊急時対応を支援するシステムの重要性が高まってきている。

### 3.2 ガス導管網の運用評価

ライフラインとして高い供給信頼性が求められるガス導管網の運用においては、時々刻々変動するガス需要に見合っ

適切な供給操作が必要となる。加えて、ガスの圧縮性に起因する応答遅れ、圧縮性を積極的に利用した導管網全体へのガスの貯蔵や需要変動を平準化するバッファ効果などを考慮する必要がある。このような圧縮性による影響は、ガス導管網が大規模化、運用が複雑化するほど増大するが、以前より用いられてきた定常流送解析では、これら圧縮性に起因する現象を評価することはできず、非定常流送解析が必要となる。ただし、従来の非定常流送解析では解析速度の面で大規模問題への適用に限界があった。

### 3.3 システムの概要

当社は、上記の諸問題を解決する、当社従来比数十倍から数百倍の解析速度向上を達成した高速非定常流送解析シミュレータを中核としたガス導管網向け供給計画・運転支援システムを開発した。本システムの構成を Fig.3 に示す。本システムは、3つの主要機能から構成されている。

#### 3.3.1 オフライン計画支援機能

ガス導管網モデル作成機能とオフライン計画支援シミュレーション機能から構成され、既存の導管網や将来の導管網を対象に、圧縮性による影響を考慮したオフライン非定常流送解析を実施し、最適運用や設備計画の検討を行う。中核シミュレータの大幅な高速化により、従来解析が困難であった大規模な供給ネットワークに対し、さまざまな供給操作シナリオに基づく効率的なケーススタディーが可能となった。具体的には、既設導管網における計画工事・緊急時の対策検討、新規大口需要家への供給可否判断、バッファ効果を活用した輸送能力の拡大、製造・受入ピーク量の低減などの効率的な運用検討に加え、今後の需要拡大、供給ソースの多様化に備え、「いつ、どこに、どんな設備を増強するのが最も効果的か?」といった最適な設備・経営計画の検討が可能となる。Fig.4 にオフライン計画支援機能の画面イメージを示す。

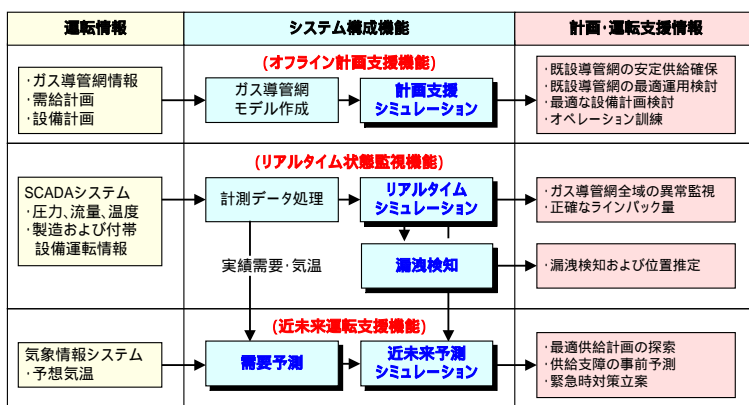


Fig.3 System configuration

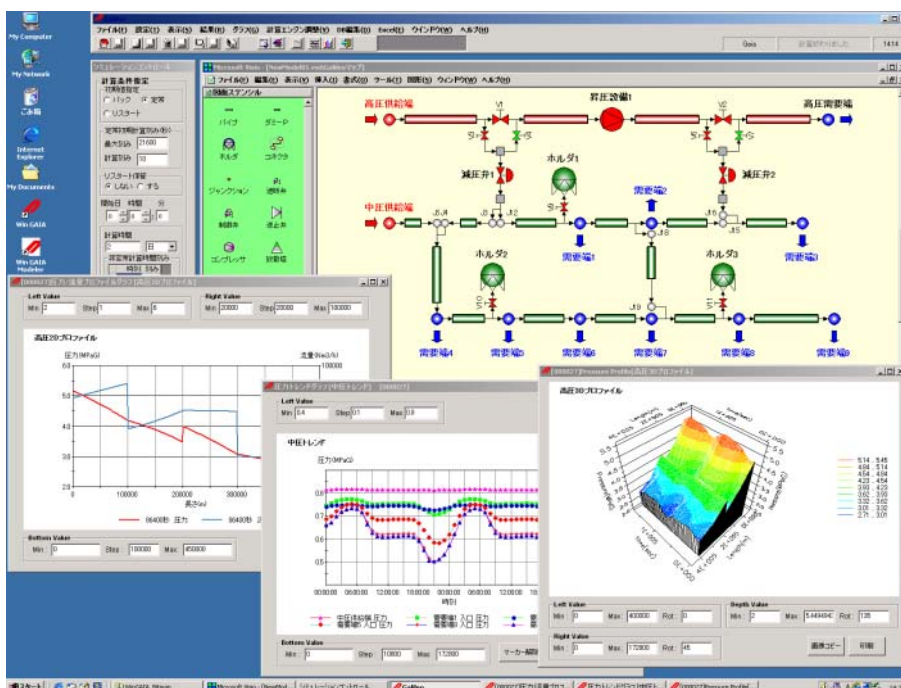


Fig.4 Screen image of Win GAIA off-line system

### 3.3.2 リアルタイム状態監視機能

現在運転中のガス導管網の各所から伝送されてくる圧力・流量のオンラインデータを解析条件として、リアルタイムで非常流送解析を実施し、従来の監視制御設備のみでは得られない高度な運転状態監視情報を提供する。具体的には、リアルタイムシミュレーション機能により導管網の最新の流送状態をコンピュータ上で再現しておき、漏洩検知機能により最新の計算結果と計測値を常時比較監視し、万一の他工事損傷や設備異常などにより両者に有意な矛盾が発生した場合、速やかに警報を発するとともに異常発生位置を推定する。

### 3.3.3 近未来運転支援機能

日々のガス導管網の流送状態は、季節、曜日、時間、気温などにより変動する需要条件や、計画工事などによる系統条件の変更により大きく変化する。本機能では、需要予測機能により需要点ごとの需要パターンを高精度に予測するとともに、最新の需要予測結果、系統条件、およびこれから行おうとする供給操作をもとにした近未来予測シミュレーションを実施し、ガスの圧縮性による応答遅れを考慮した適切な供給操作の検討、余力管理を支援する。

### 3.4 まとめ

本システムは、既に自社内エンジニアリングツールとして活用しているとともに、都市ガス会社、ガスパイプライン会社へオフラインシステムあるいはオンラインシステムとして納入され高い評価を得ている。当社では、本システムの販売に加え、本システムを用いた受託解析や、当社のこれまでの実績、経験を活かした最適なガス供給システム構築に向けたソリューションエンジニアリングを実施している。

## 4. 水和物スラリー空調システム

### 4.1 開発の背景

民生部門のエネルギー消費では空調設備における電力需要が年々増大している。21世紀においては、炭酸ガス排出量削減など地球環境保全のために、省エネルギー政策の強化がますます求められるようになり、革新的で効果の大きな省エネルギー技術が期待されている。さらに、冷房負荷が昼間に集中することから電力需要ピークの平準化に対する技術開発も求められている。

現在、水や氷を用いた蓄熱式空調システムの普及促進が図られている。冷水蓄熱の場合、同じ蓄熱槽容積では氷蓄熱と比べて蓄熱量が小さくなる。また、氷蓄熱では冷凍機の運転COPが冷水と比べて低くなるため消費電力量が大きくなってしまふ。

そこで、開発された冷熱媒体<sup>10)</sup>は、液系の包接水和物と水溶液の混合媒体（以下、水和物スラリーと略記する）であり、冷房で使用される温度域である5～12℃で冷水よりも高い熱密度を保有し、熱輸送にも優れた特性を持つ新しい媒体である。この水和物スラリーを空調システムに用いることによ

て、大きな省エネルギーを達成することが期待できる。

本章では水和物スラリーの特性と、水和物スラリーを用いた空調システムについて紹介する。

### 4.2 水和物スラリーの特徴と諸特性

潜熱を持つ媒体として、包接水和物（クラスレートハイドレート）がある。包接水和物は、水分子が網状構造など（包接格子）をつくり、その隙間にゲスト分子（水和剤）が入り込んだ構造をなす化合物である。水和物を生成する水和剤としてはさまざまな物質があり、フロンガスやメタンガスなどのガスをゲスト分子としたガス系包接水和物が知られている。本水和物は、水和剤として、テトラ n-ブチルアンモニウム塩（TBAB）を用いた液系包接水和物の一種である。

水和剤を水に溶解させた水溶液を大気圧下で流動させながら冷却していくと、中間粒径が40～60μmの水和物粒子が水溶液中に生成し、Photo 5に示す流動性のある水和物スラリーを得ることができる。

Table 1に、水和物スラリーの主な特徴を示す。

本水和剤は化審法に登録されている薬品であり、安全衛生法、毒物・劇物取締法、消防法には該当しない。Table 2に急性毒性試験結果を示す。

また、この水溶液の熱安定性は高いため、繰り返し使用しても熱物性に変化はない。



Photo 5 Clathrate hydrate slurry

Table 1 Advantages of CHS

- (1) ガス系包接水和物と異なり、大気圧下で安定して生成。
- (2) 氷と比べて冷熱製造の成績係数(COP)が有利な温度域(5～12℃)で潜熱を持つ。
- (3) 蓄熱媒体のみならず、冷水に代わる高密度の冷熱輸送媒体として使用可能。
- (4) 輸送配管、空調用熱交換器には、冷水と同様の機器が使用可能。

Table 2 Toxicity test results of TBAB

急性毒性	LD <sub>50</sub> ：ラット経口	1414mg/kg 1542mg/kg
魚毒性	LC <sub>50</sub> ：ヒメダカ 96時間	3340mg/kg

#### 4.2.1 水和物の生成特性

Fig.5 は、水和物の生成温度と水溶液濃度の関係（水和物生成線）を示したものである。

水和物に対する水和物中の水和剤の重量割合が、水溶液濃度と同じ場合、水溶液の冷却に伴って水和物スラリー中の水和物が増加しても水溶液濃度が一定となる。このとき、水和物スラリーの温度もほぼ一定に保たれる。実験では水溶液濃度を40.5wt%の場合に約 11.8 で一定になることから水和物の水和数はおよそ 26 程度であると推定された。この水和物を「第一水和物」と呼ぶことにする。

水溶液濃度が 40.5wt%より低い水溶液を冷却していくと、水和物スラリー中の水和物割合の増加に伴ってスラリー中の水溶液濃度が低下する。そのため水和物生成温度は水和物生成線に沿って低下する。これまでの実験から、水和物スラリーの温度が約 8 以下になると、水和数が約 36 の水和物へ移行する特性がある。以下では、この水和物を「第二水和物」と呼ぶことにする。Fig.5 では、8 以下では二つの水和物生成線が描かれているが、冷却過程では一時的に第一水和物が生成されるものの、第二水和物が安定であるため、最終的には第二水和物となる。

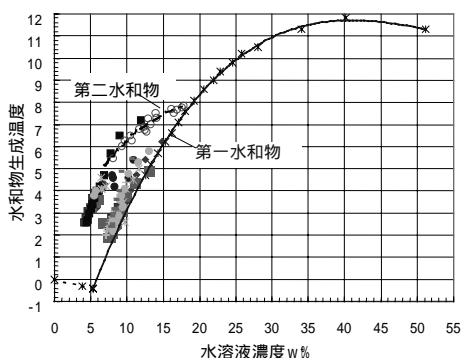


Fig.5 Mass concentration of aqueous solution vs temperature of formation of CHS

Table 3 に、第一および第二水和物の比重、比熱、潜熱の熱物性の計測例を、Fig.6 に、水溶液濃度 20wt%における水和物スラリーの温度と比エンタルピ(12 を 0 とした比エンタルピとして表現している)の関係を示す。約 5.6 で、冷水の 4 倍(温度差を 7 度とした場合)の熱密度を持つ水和物スラリーとなる。

Table 3 Measured values of thermophysical properties of CHS

物性	測定例	
	第一水和物	第二水和物
比重 kg/L	1.08	1.03
比熱 kJ/kgK	2.22	-
潜熱 kJ/kg	193	205

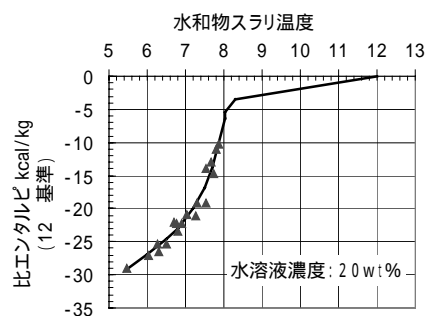


Fig.6 Temperature of CHS vs specific enthalpy

#### 4.2.2 水和物スラリーの輸送特性

水和物スラリーは、蓄熱媒体としてのみならず、高密度の冷熱輸送媒体として用いることができることが、大きな特徴である。水和物スラリーは、ソフトクリーム状の流体であり、配管内や空調用熱交換器内、弁類等で凝集や閉塞は見られず安定した流れが得られる。

Fig.7 は、実用規模の設備において、約 58kJ/kg の熱密度を持つ水和物スラリーを負荷に供給した場合の流量および搬送ポンプ動力を、ほぼ同じ負荷で冷水を供給した場合のものと比較した一例である。流量は約半分で搬送ポンプ動力はおよそ 1/4 に低減され、実用規模の設備においても搬送動力低減が確認できた。

また、固液混相流体の場合、直管から枝管に分岐するところで固体粒子の偏流によって固相割合が等分に分配されないことが懸念されるが、今までの実験結果では、水和物スラリーの粒子は均等に分配しており分岐のある配管システムに適用できることが確かめられている。

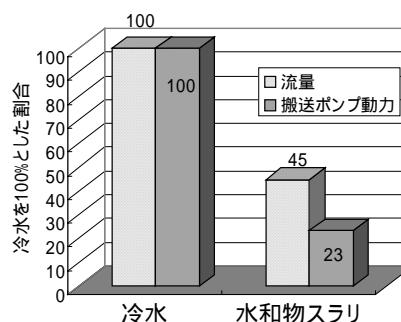


Fig.7 Comparison of the ratio of pumping power consumption (example of experimental results)

#### 4.2.3 水和物スラリーの伝熱特性

一般的な冷水仕様の負荷用熱交換器の性能を確認するため、同形式のファンコイルユニット(冷水定格流量約 5kg/min)を用いて水和物スラリー供給時の熱交換特性を調べた。冷水と水和物スラリー供給時の熱通過率と流量の計測結果の一例を Fig.8 に示す。流量が定格より少なくなっても定格流量で冷水を供給した場合より水和物スラリーの方が熱通過率は高くなっている。このような伝熱促進効果によって、水

水和物スラリの熱密度を倍にして流量を半減させた場合でも冷水の定格時とほぼ同等の熱交換特性が得られた。また、空調機内熱交換器の細い銅管や弁における閉塞もなく、搬送系の問題もないことが確かめられ、冷水仕様の熱交換器を使用できることが確かめられた。

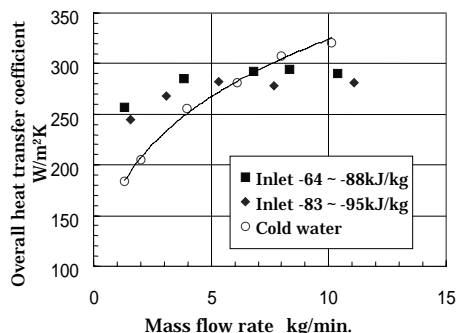


Fig.8 Characteristic of heat exchange on air conditioner

### 4.3 水和物スラリを用いた空調システム

#### 4.3.1 水和物スラリ空調システムの構成

水和物スラリをビル空調システムに適用する場合の標準的な構成例を Fig.9 に示す。

水和物スラリを用いたビル空調システムは、水和物スラリを製造する熱交換器が追加されるが、従来の空調設備とは大きく変わらず、蓄熱および輸送媒体の氷あるいは水を水和物スラリに置き代えるもので、従来の水と同じように扱えるシステムである。

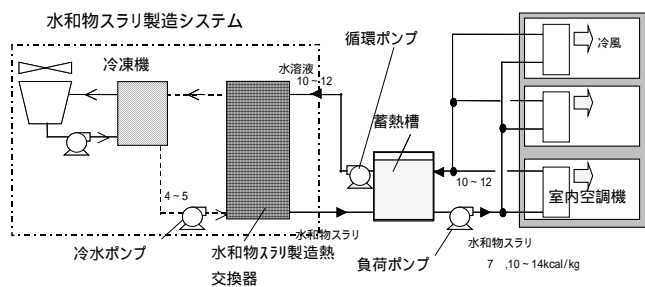


Fig.9 Air conditioning system using CHS for a building

#### 4.3.2 業務ビルに水和物スラリ空調システムを適用した場合の電力消費量の試算

20000m<sup>2</sup> 規模の業務ビル空調システムに水和物スラリを適用した場合の蓄熱・供給システム[水和物蓄熱]について、年間の冷房用電力消費量を試算した。比較として非蓄熱・冷水供給システム[非蓄熱](セントラル空調方式)および氷蓄熱・冷水供給システム[氷蓄熱]の年間消費電力量も試算した。

なお、冷熱負荷は冷熱負荷原単位 = 99W/m<sup>2</sup>、全負荷相当時間 = 1000 時間、ピーク負荷 1977kW、月別・時刻別負荷パターンは都内業務ビルの設計用負荷(年間を通じて昼夜間とも冷房負荷がある)を使用した。

また、氷蓄熱システムの蓄熱槽は容積 148m<sup>3</sup> とし、水和物蓄熱システムでは容積 296m<sup>3</sup> とした。蓄熱密度はそれぞれ、氷蓄熱: 235MJ/m<sup>3</sup>(氷の体積割合=60%のスタティック型)、水和物蓄熱: 59MJ/m<sup>3</sup> とした。冷水と水和物製造ターボ冷凍機の昼間 COP: 5.0、夜間 COP: 5.3、氷蓄熱システムの昼間 COP: 4.3、製氷時 COP: 2.9 とし、冷凍機の部分負荷運転効率を考慮した。非蓄熱および氷蓄熱システムの二次側はクローズドシステム、水和物蓄熱システムではオープンシステムとし、二次ポンプは変流量制御とした。

Fig.10 に、各システムの年間冷房用電力消費量(空調機ファン動力は除く)および消費電力のうち蓄熱に要した電力(夜間移行電力)を示す。非蓄熱システムの消費電力量に対して水和物蓄熱システムが小さくなっているのは、蓄熱により効率の低い冷凍機部分負荷運転時間が短縮されたためと、熱密度の高い水和物スラリを二次側空調機に直接供給することによる搬送動力低減によるものである。また、氷蓄熱システムでは、蓄熱量が水和物蓄熱システムの 2 倍あり、かつ製氷時 COP が低いため夜間蓄熱電力量が大きくなっているが、省電力量は小さい。

以上より、水和物蓄熱システムでは、従来の空調システムに比べて大幅に消費電力を削減できる可能性があることがわかった。

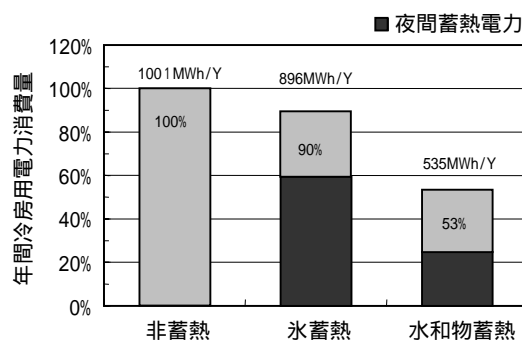


Fig.10 Relative annual electric power consumption on respective air conditioning systems

### 4.4 まとめ

高密度で冷熱を蓄熱・輸送できる水和物スラリは、従来の冷水と比べて輸送動力の大幅な削減などによる省エネルギーが期待できる。また、蓄熱槽や輸送配管の小口径化による設備費の削減や既設配管での輸送熱量の増大も可能である。

この水和物スラリの開発により、民生部門の冷房需要の増大に対する新しい省エネ型次世代空調システムとして、炭酸ガス削減と電力の負荷平準化に大きく貢献するものとする。

今後、水和物スラリを用いた空調システムの実用化に向けて、機器・システムの最適設計技術と水和物スラリの運転管理技術についてさらに開発を推進していく予定である。



なお、本研究開発は、旧通商産業省工業技術院の「広域エネルギー利用ネットワークシステム研究開発」の1テーマとして開始し、現在、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)よりエネルギー使用合理化技術実用化開発の補助金を受け実施しているものである。

## 5. 固体酸化物形燃料電池 (SOFC : Solid Oxide Fuel Cell)

### 5.1 開発の背景

近年、環境に対する問題意識の高まりもあり燃料電池が次世代発電設備として注目されている。中でも固体酸化物形燃料電池(SOFC)は他の燃料電池に比べて、発電効率が高く、究極の分散電源として期待されている。当社では1980年代後半よりSOFCの開発に取り組み、1992年からはSOFCの開発で世界のトップランナーである米国ウェスチングハウス社(現SWPC(シーメンス・ウェスチングハウス・パワー社))と共同開発を始め、その延長線上でディストリビューター・パッケージング契約を締結している。

また2001年12月にはSWPCの小型SOFCでアライアンスを組んでいるカナダのFCT(フューエル・セル・テクノロジー)社と50kW以下のSOFCの商品化について提携した。ここでは、商用化モデルであるSWPCの250kW CHP(Combined Heat & Power)システムとFCTの5kWシステムについて概説する。

### 5.2 250kW CHPシステム

本システムは2000年11月までオランダ・ウェスターフールトで行った100kW級実証試験機(総運転時間16610時間)を2倍にスケールアップしたモデルである。Fig.11に本システムの外観および仕様を示す。

本システムは2002年から2003年にかけてTable 4に示すように5件の実証試験が予定されている。

Net AC出力	232 kW
発電効率(LHV)	46.2%
熱出力	184 kW
熱出力効率	36.6%
総合効率	82.8%

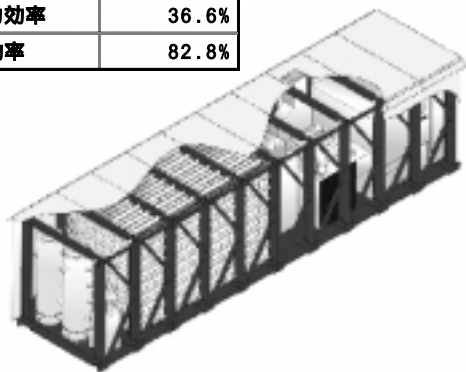


Fig.11 Appearance and specifications of 250kW CHP system

Table 4 250kW CHP system demonstration programs

顧客	サイト	稼働予定
Kinectrics	トロント, カナダ	2002年6月
BP America	アラスカ, アメリカ	2003年6月
Stadtwerke Hanover	ハノーバー, ドイツ	2003年8月
Southern Co.	アトランタ, アメリカ	2003年10月
Shell	コルスネス, ノルウェー	2003年12月

### 5.3 5kW SOFCシステム

本システムはSWPC製のセルスタックをFCTでパッケージングしたものである。北米の家庭用に開発されているが、容量が大きい日本で使用する場合は小規模レストラン、コンビニなどに適している。別稿(環境ソリューションの章参照)に外観を、Table 5に仕様を、Fig.12に系統図を示す。このように本システムは現在開発中の小型燃料電池の中でも最も高効率である。

Table 5 5kW SOFC specifications

No.	項目	仕様
1	寸法	61×79×170(cm)
2	重量	300kg
3	送電端出力	0~5kW
4	熱出力	Max.6.4kW
5	発電効率	46% @3kW
6	総合効率	約80%
7	燃料	天然ガス
8	蓄電池	5kW×8時間

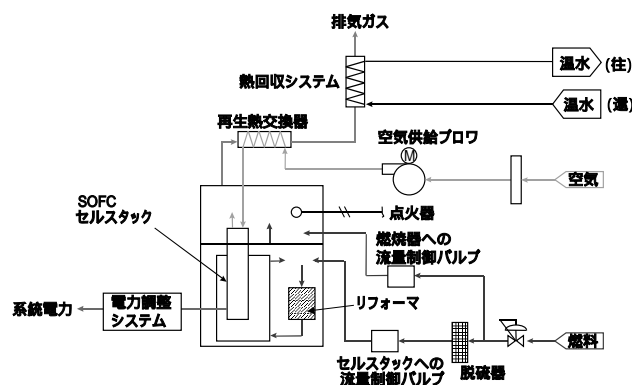


Fig.12 5kW SOFC process schematic

またTable 6に本システムを導入した場合の省エネルギー・環境改善効果の試算例を示す。このようにSOFCは非常に省エネルギー性、環境改善性に優れたシステムであることが判る。当社では今年度鶴見事業所に本システムを設置し、日本で初めてSOFCの実証試験を開始する予定である。

Table 6 Energy and emission savings of 5kW SOFC system

項目	従来方式	SOFCを導入した場合	削減効果	備考
電力 (kWh/年)	43800	-	-	
ガス (Nm <sup>3</sup> /年)	4306	9474	-	効率 40%@5kW
一次エネルギー消費量 (MJ/年)	648801	436233	212569	
CO <sub>2</sub> 排出量 (kg/年)	38605	20369	18236	
NO <sub>x</sub> 排出量 (kg/年)	13585	ほとんどなし	13585	
SO <sub>x</sub> 排出量 (kg/年)	10512	0	10512	

#### 5.4 まとめ

経済産業省では、燃料電池を環境適合性に優れ、高い総合エネルギー効率の実現できる新エネルギーとして、2010年までに220万kWの導入を目標として策定している。今後、我が国初のSOFC/5kW機の導入を皮切りに、早期商品化を図る考えである。

#### 6. おわりに

当社は、都市のエネルギー供給インフラ基盤に関連した商品やさまざまな省エネルギー技術、エネルギー源の多様化・変化に対応した商品とを通して、都市でのエネルギーの効率的利用と生活の利便性追及を両立させた世の中の構築に貢献していく考えである。そして、引き続き市場ニーズに密着して、天然ガス利用分野、新エネルギー分野などに新商品を投入し、事業領域の拡大を目指している。

本稿で紹介した技術は、いずれも環境負荷低減、省エネルギーの推進など、社会的要請に応え得るものであると自負している。今後ともエネルギー・環境分野でエンジニアリング事業を展開するトップランナーとして、技術開発に注力していく考えである。

本稿の作成にあたりご協力いただいた、幸田和郎、生越英雅、佐藤律夫、井崎靖男、那須卓の各氏に謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 綿貫ほか。“京阪間瓦斯輸送用鋼管とその敷設工事に就て”。鋼管技報. No.8, pp.1-17(1951).
- 2) 滝口ほか。“コーラタールエボキシ塗料に関する研究”。日本鋼管技報. No.15, pp.72-77(1959).
- 3) 鈴木ほか。“パイプラインの耐震安全性”。NKK 技報. No.161, pp.34-38(1998).
- 4) 若松ほか。“世界最大20万kl LNG地下式貯槽の設計・施工法”。NKK 技報. No.155, pp.12-19(1996).
- 5) 荒田ほか。“北上川上流流域下水道中川ポンプ場下水熱回収設備および盛岡駅西口地区熱供給設備”。NKK 技報. No.161, pp.62-66(1998).
- 6) 平田ほか。“パイプライン弧状削進工法NK-RAPID”。NKK 技報. No.154, pp.37-41(1996).
- 7) 山田ほか。“パイプライン管内探査装置”。日本鋼管技報. No.111, pp.53-59(1986).  
佐藤ほか。“ガスパイプライン運転支援システム”。NKK 技報. No.170, pp.41-47(2000).
- 8) 三沢ほか。“LNG タンクのロールオーバー現象対策”。日本鋼管技報. No.88, pp.87-94(1981).  
高雄ほか。“LNG 基地ボイルオフガスシミュレーション技術”。NKK 技報. No.172, pp.14-20(2000).
- 9) 大野ほか。“固体酸化物形燃料電池システム”。NKK 技報. No.174, pp.12-17(2001).
- 10) 福嶋ほか。“液系水和物を用いた高密度冷熱媒体”。NKK 技報. No.166, pp.65-70(1999).  
高雄ほか。“水和物スラリー新空調システム”。NKK 技報. No.174, pp.6-11(2001).