

氏名	小原伸哉
所属機関	北見工業大学・工学部・電気電子工学科・教授
研究題目	ガスハイドレートの解離・再生特性に着目した小温度差発電システムを用いたマイクログリッド用ベース電源の開発

1. 研究の目的

ガスハイドレートは、ガス燃料の高効率輸送手段として、さらに CO₂ の海底固定技術として調査されている。ガスハイドレートの特徴の1つは、クラスレート構造によりわずかな温度変化に対して、大きなガス解離圧を得られることである。例えば CO₂ ハイドレートを 0°C から 10°C に変化させると、解離前後のガスの差圧はおよそ 3MPa に達する。解離したガスのクラスレート化(再生)は、0°C、1MPa の状態に冷却することで達成する。この特徴を利用したガスハイドレートによるエンジン発電機は、低温排熱、自然エネルギー、小容量冷凍機などで運転できるので、非常にクリーンな電源である。本研究の目的は、国内の 1 次エネルギーフローのおよそ 3 割を占める低温排熱を電気エネルギーに変換することで、省エネルギーおよび低環境負荷の社会を目指すことである。また、世界初のハイドレートエンジンによるマイクログリッド用電源を目指しており、今までにない画期的な分散電源の構築が予想される。

2. 研究の内容(手法、経過、評価など)

(1) ガスハイドレートの解離・再生特性

ハイドレートは、ガス燃料の輸送や CO₂ の海底貯蔵などの分野で利用が検討されている。ハイドレートの特徴の1つは、わずかな温度変化に対して、大きなガス解離圧力が得られることである(図 1)。例えば CO₂ ハイドレートの場合、0°C から 10°C の温度変化で、解離ガスはおよそ 1MPa から 4MPa まで膨張することができる。ハイドレートの解離膨張ガスの圧力は、圧縮ガスエンジンを十分に運転できる値で、しかも 0°C から 10°C の温度範囲は、太陽光などの自然エネルギー(高温側)と簡単な冷凍機(低温側)で達成することができる。そこで我々は、ハイドレートの解離膨張特性に着目して、世界初のクリーンな高圧ガスエンジンを用いた発電システムの開発を行った。

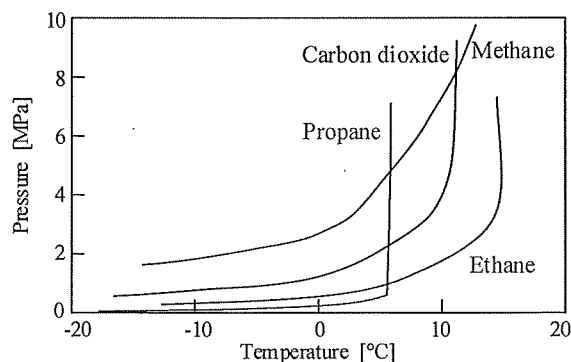


Fig. 1 Temperature-pressure characteristics of various hydrates

そこで我々は、ハイドレートの解離膨張特性に着目して、世界初のクリーンな高圧ガスエンジンを用いた発電システムの開発を行った。

(2) ガスハイドレートエンジン

図 2 は、提案するガスハイドレート発電システムの構成図である。ハイドレートの入った 2 つの容器は、1 つがガスの解離用(カラム A)でもう 1 つはハイドレートの再生用(カラム B)である。カラム A では、外部から供給された温熱によってハイドレートが加熱される。この際にハイドレート中のガスは解離して、高圧ガスがエンジンユニット(シリンダ、ピストン、コンロッド、クランク軸で構成されるユニット)に供給される。ガスの圧力によって、エンジンユニットのピストンが押し下げられる。フライホイールの慣性力でピストンが上昇すると、シリンダ内のガスはカラム B

2. 研究の内容(続き)(書ききれない場合には、同一形態のページを追加しても結構です)

に排出される。カラム B では、外部から供給された冷熱により、ハイドレートが生成される。2つのモードのハイドレート(カラム A および B)とエンジンユニットの流路を、一定時間で交換することで連続したエンジンの運転が可能である。本研究プロジェクトでは、図 2 のシステムを評価することで、数値解析による結果を実証することになった。

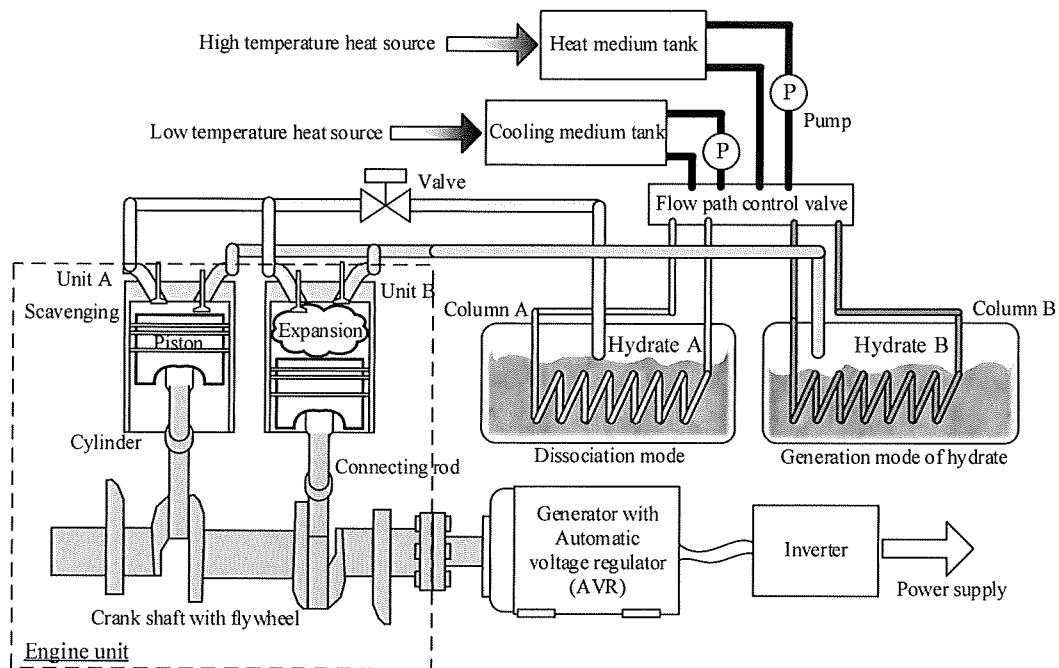


Fig. 2 Hydrate actuator (HA engine)

(3) マイクログリッドのベース電源への適用

図 3 は、固体高分子膜形燃料電池(PEFC)の排熱と、製氷用冷凍機を用いてハイドレートエンジンを運転するシステムの構成図である。本研究では、燃料電池などの排熱や自然エネルギーを利用して、ハイドレートエンジン発電機を駆動し、この際の電力を図 4 に示すマイクログリッドの電力網へ供給することを検討する。一般にマイクログリッドの電源は、ベース電源と変動負荷電源に分けることができる。負荷率と発電効率の特性から、本研究

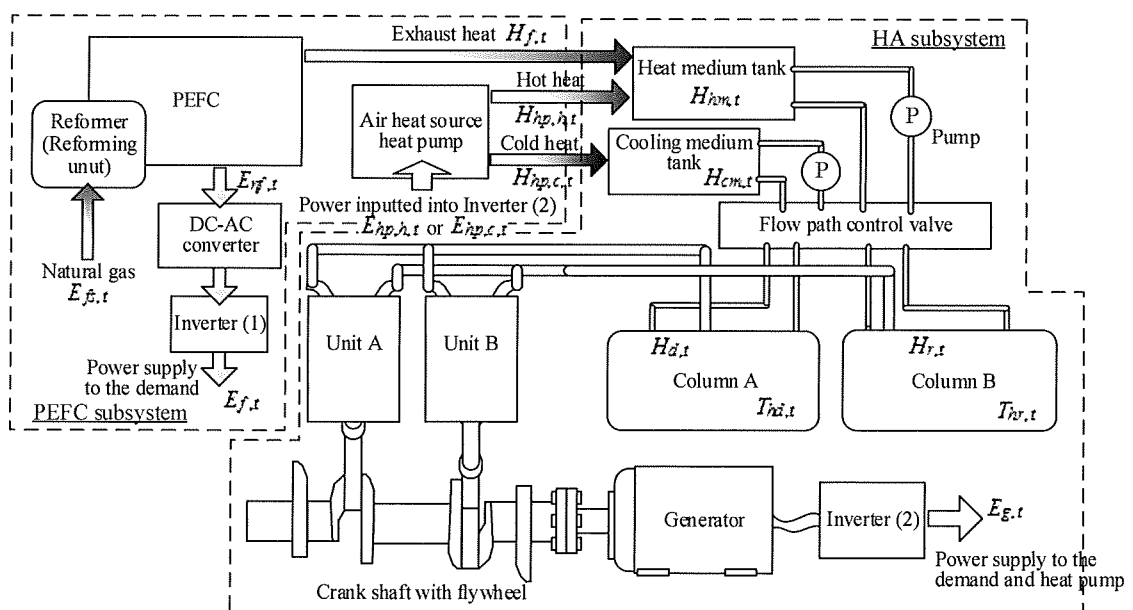


Fig. 3 Configuration of HA engine and PEFC hybrid power system (HPHS)

2. 研究の内容(続き)(書ききれない場合には、同一形態のページを追加しても結構です)

で開発するハイドレートエンジン発電機はマイクログリッドのベース電源として用い、PEFCは変動負荷に対応させることを検討した。

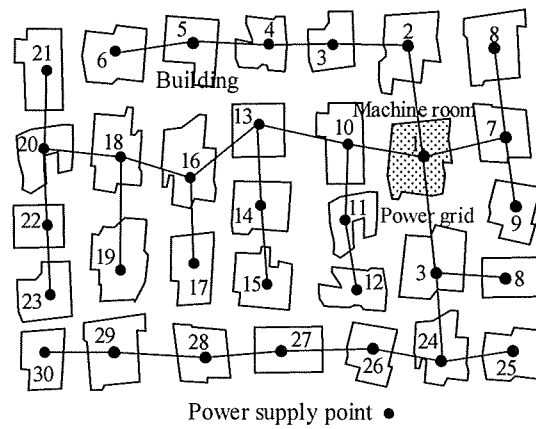


Fig. 4 Microgrid model with a gas-hydrate power system

3. 研究の結論、今後の課題

ガスハイドレートの特異な状態変化による熱サイクルを寒冷地の低温外気で駆動させる、エネルギー貯蔵装置 (Gas Hydrate Battery: GHB) として応用するシステムを考案するに至った (図 5)。GHB の基本特性を実験で調査して、ガスエンジン、固体高分子膜形燃料電池 (PEFC)、固体酸化物形燃料電池 (SOFC) による各種電源の小型コジェネレーション (CGS) と、GHB で構成される高熱電比に対応可能な分散エネルギーシステムを提案した。提案システムを寒冷地の戸建て住宅に設置した際の、化石燃料の消費量の削減効果、システムの運用方法、熱電比と化石燃料の消費量の関係を明らかにするため、北見市の電力及び熱負荷の特性を用いて、提案システムの運用方法を調査した。この結果、例えば、 2 m^3 の Capacity of a hydrate formation space を伴う提案システムでの GHB の電力割合 (即ち自然エネルギーによる電力割合) は 48~52 % であった。したがって提案システムは、高い熱電比が要求される寒冷地での燃料消費量の低減に大きく寄与することがわかった。

図 5 の提案システムの性能を確認するために、現在試作機を評価中である。

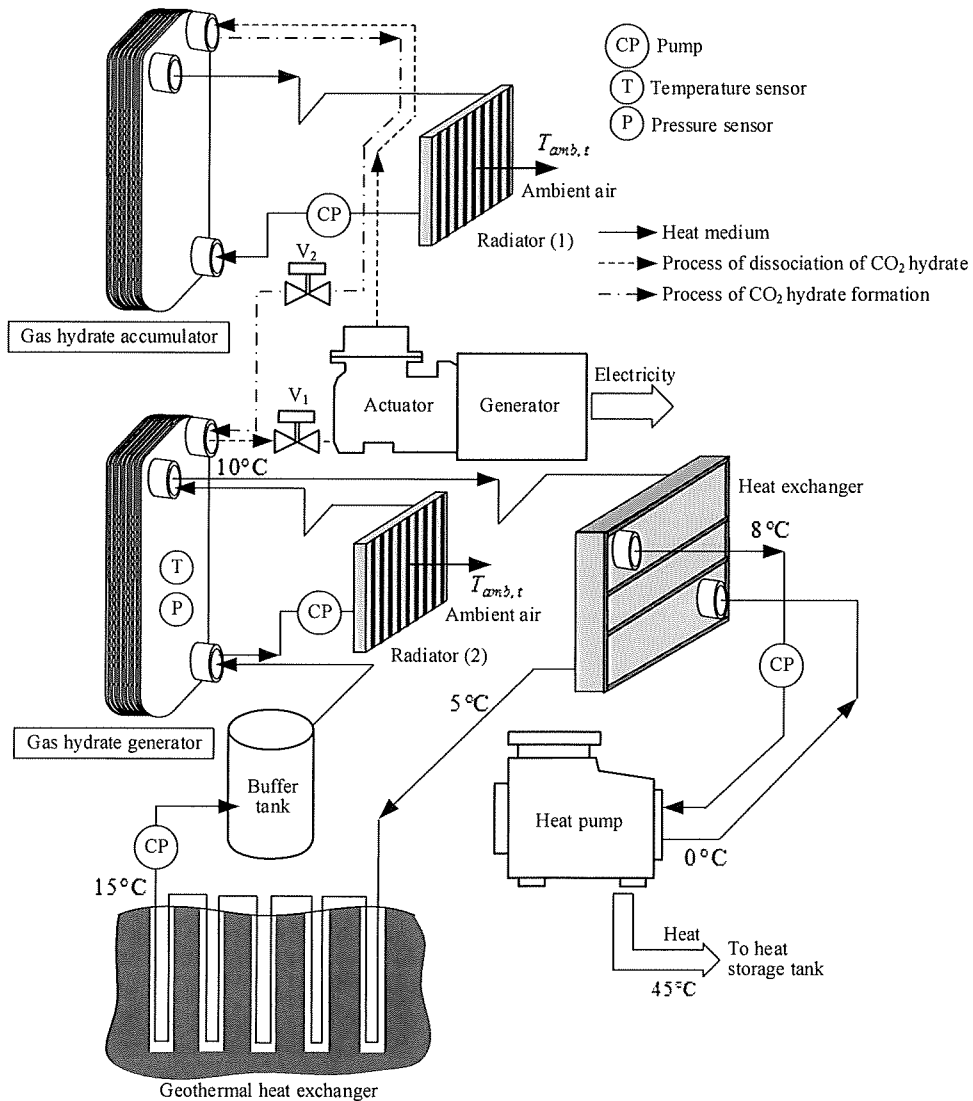


Fig. 5 Energy system for cold region houses by small-scale cogeneration and gas hydrate battery

4. 成果の価値(とくに判りやすく書いて下さい)

4. 1. 社会的価値

本研究成果により、以下の社会的価値が見込まれる。

- 1)寒冷地での冬季の大量のエネルギー需要が大きな課題となっているが、この問題に寄与できる、新たなエネルギーシステムの基礎技術を構築できた。現在のところエネルギー密度は低いものの、外気の冷熱と低温排熱または再生可能エネルギーによる温熱を利用することで、蓄電および発電できる技術を開発した。
- 2)開発したシステムは温室効果ガスを排出することが無く、出力制御が可能であることから、クリーンな再生可能エネルギーを安定して貯蔵し出力できる新しい分散電源である。

4. 2. 学術的価値

ガスハイドレートの工業利用はこれまでまったく行われておらず、特異な物性を利用した新しい学術分野を開拓することができた。ガスハイドレートの解離膨張特性は、今後発電以外に、ヒートポンプやアクチュエータへの活用が見込まれ、学術的に調査されることが予想される。

4. 3. 成果論文(本研究で得られた論文等を年代順に書いて下さい。未発表のものは公表予定を書いて下さい)

- 1)【未発表(投稿中)】Development of a Compound Energy System for Cold Region Houses using Small-Scale Natural Gas Cogeneration and a Gas Hydrate Battery, Shin'ya Obara, Yoshinobu Kikuchi, Kyousuke Ishikawa, Masahito Kawai, Kashiwaya Yoshiaki, Applied Energy, 2014
- 2)Operational Analysis of a Small-Capacity Cogeneration System with a Gas Hydrate Battery, Shin'ya Obara, Yoshinobu Kikuchi, Kyousuke Ishikawa, Masahito Kawai, Kashiwaya Yoshiaki, Energy, Vol. 74, 2014, pp. 810– 828.
- 3)Study on a Power Generation System as Distributed Power Supplies in Consideration of the High-Pressure Dissociation Characteristics in the Small Difference in Temperature of CO₂ Hydrate, Masahito Kawai, Shin'ya Obara, Design for Innovative Value Towards a Sustainable Society, Springer, 2012, pp. 1008-1013.DOI: 10.1007/978-94-007-3010-6_213.
- 4)Operational Planning of an Engine Generator Using a High Pressure Working Fluid Composed of CO₂ Hydrate , Shin'ya Obara, Takanobu Yamada, Kazuhiro Matsumura, Shiro Takahashi, Masahito Kawai, Balaji Rengarajan, Applied Energy, Vol. 88, Issue 12, 2011, pp. 4733-4741
- 5)Study of a Power Generation System for Distributed Power Supplies that Utilizes the High-Pressure Dissociation Characteristics and the Small Difference in the Temperature of CO₂ Hydrate , Shinya Obara, Manabu Okuda, Ryohei Shimizu, Kazuhiro Matsumura, Masahito Kawai, Journal of Power and Energy Systems, JSME, Vol. 5, No. 3, 2011, pp. 376-387.
- 6)Development of a Hybrid Compressed Gas Engine/PEFC Power System Using the Dissociation Expansion Characteristics of Gas Hydrate , Shin'ya OBARA, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 35, Issue 19, 2010, pp. 10604-10612.