

■ 解 説 ■

# 濃度差エネルギーシステムとエンジン

## Concentration Difference Energy System and Engine

(第2報)

—濃度差エンジン—



一 色 尚 次\*

Naotsugu Isshiki

### 3. 濃度差エンジン (CDE エンジン)

#### 3.1. エンジンの構造原理

さて上記のような理論解析をベースとして、CDE システムの手段として任意の水溶液から実際に動力を発生するエンジンを開発するべく努力した結果、われわれは図-11に示すように原理的にはきわめて簡単な形式のCDE 機関を試み、それによる濃度差エネルギーの動力化に成功した。これは現在濃度差エネルギーエンジン、塩水エンジン、スチームバッテリー機関、吸収蒸気機関、などいろいろな名称で呼ばれているものである。

同エンジンは図のように水溶液Aとその中に浸漬した純水ボイラBと、外部の蒸気機関C、およびその排気蒸気をもとの水溶液Aの中に吹き込む、吹き込み管Dの四つの主要素から成っている。まず水溶液Aと純水ボイラBとを一体として予熱して両者を一様にAの沸点(約150~160°C)の近傍まで上昇させると、ボイラB内の水は約5Kg/cm<sup>2</sup> absの蒸気圧力を呈する。ついで弁Eを開けば、蒸気は蒸気機関Cを動かして出力

Pを生じた後、排気吹き込み管Dより水溶液A内に入り、直ちに吸収されて、吸収発熱を生ずるので、その熱が再びボイラBに供給されて後続蒸気の発生を継続できる。

#### 3.2. 定置式 CDE エンジンの実験結果

##### (a) 定置式エンジンの構成

定置式CDE エンジンとして小型(400 W)および大型(1 KW)の試作濃度差エネルギー機関を製作し実験した、大型機関のフローシートを図-12に示す。

小型機関ではLiCl + 3 CaCl<sub>2</sub>の水溶液を用い、大型機関では低温での固化を極力防ぐためにLiClの比率を大きくして3 LiCl + 2 CaCl<sub>2</sub>の水溶液を採用した。

小型機関ではボイラでの熱伝達温度差を小さくするために、そのボイラには管外の吸収側に約2.5倍の拡大面積比のローフィンをもつ伝熱管を用い、発生した水蒸気は溶液中に置かれた気水分離器を通り、蒸気機関に導かれる。蒸気機関は出力30 W、直径12 mm、ストローク12 mmの3気筒復動式であり、また蒸気吹き込みノズルは各水管の中央部に設けら

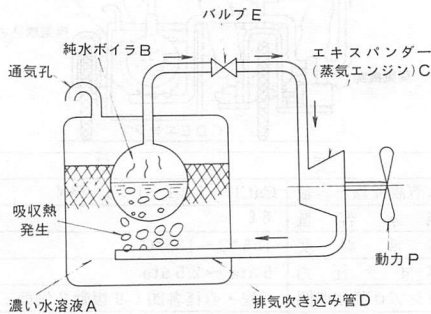


図-11 濃度差エネルギーエンジンの原理図

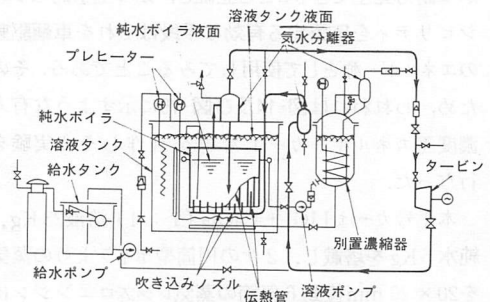


図-12 1 KW 濃度差エネルギー機関実験装置のフローシート

\* 東京工業大学工学部生産機械工学科教授  
〒152 東京都目黒区大岡2-12-1

れており、吹き込まれた蒸気は四方の水管の壁に沿って発熱消滅しながら上昇することになる。

一方、大型機関のボイラはシェルアンドチューブ型の蒸発器で、伝熱管内の吸収側、管外が沸騰側である。蒸気機関は4気筒星型159 ccの空気モータを蒸気用に改造した往復式で、最大1.5 KWの出力を発生させることができる。排気は気水分離器でしめり分が除かれ、乾き蒸気が蒸気吹き込みノズルから各伝熱管の中心線に吹き込まれ溶液に吸収されて発熱するようにしてある。

(b) 定置機関の実験結果

なお参考として大型 CDE 機関の実験結果の一例を図-13に示す。エネルギー無補給のバッチ運転では小型機関は約15分、大型機関約300分連続して運転でき、その間に液温度、蒸気温度、出力、等を逐次下降する。これは溶液が蒸気吸収して次第にうすくなるためであって、外部よりエネルギー補給がされないときは止むを得ないものである。

さてこれらの機関では、連続給水時には溶液あたり約20~25KWh/tのボイラ断熱比動力（ボイラの圧力と発生蒸気量の実験値から計算する比動力）が測定され、作動濃度範囲の理論値とほぼ同一であったが、実際のタービンに生じた発生動力による比動力は蒸気機関や発電機の実効率が低かったので上記の値の1/2以下となった。

この結果より、もし蒸気機関の熱効率とボイラの熱伝達が十分良好であれば水溶液の有する図-7 (VOL. 2 No 3 P. 21参照) のような理論動力がほぼ実際に取り出せる可能性があることがわかった。

3.4. 車両エンジンの実験結果

(a) 有人1号車の実験；

水溶液の濃度差変化によってエネルギーを蓄積し、かつ動力発生できることを立証し、かつ工学的なフィジビリティを確認する有効な手段はそれを車輛駆動のエネルギー源として使用して試みることである。そのため、われわれは図-14及び図-15に示すような有人濃度差エネルギーカー1号車を製作しその実験を行なった。

本1号カーはLiCl + CaCl<sub>2</sub> (1 : 1) 溶液23 Kg, 純水6 Kgを搭載し、2ケの円筒型ボイラよりの蒸気を20 × 20 mm 複動6気筒の蒸気レシプロエンジンに導いて三輪車を走らせるもので、その実験により約20分間時速10~15 Km/h で走ることができた。

本実験カーの車輛重量は約140 Kgで、この値はダ

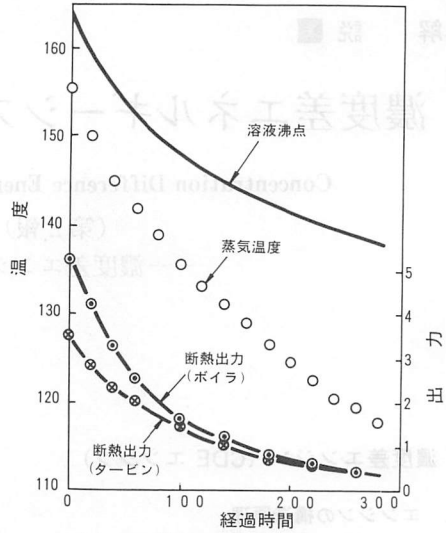
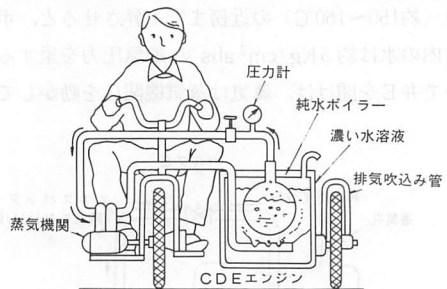


図-13 機関の出力の経時変化



図-14 有人濃度差エネルギーカーの1号車の写真



要	目
水溶液種類と容量	CaCl <sub>2</sub> + LiCl, 1 : 1, 23 l
純水容量	6 l
溶液温度	155°C ~ 135°C
ボイラ圧力	5 ata ~ 2.5 ata
レシプロ蒸気機関	行程・直径各20ミリ複動2気筒三台
出力	0.55 PS. mdx
カ ー 速 度	15 km/h ~ 4 km/h
走 行 時 間	20分 ~ 25分
全 備 重 量	140 kg (人を除く)

図-15 有人濃度差エネルギーカー (CDE カー) の原理図

イハツ欄の電池カー（三輪）と等しく、それが30分間約30Km/hの速さで走れるのにくらべて本濃度差カーは実力でその約4分の1の値を出したことになる。実際問題としてこの1号車は、各部分が既製品の寄せ集めで無駄重量が大きく、かつ蒸気機関が小さすぎてその熱効率が約20%の低さであるので、将来はそれらの改善によって電池カーなみの実力を発揮できるものと考えられる。なお本1号カーはその濃度差エネルギーを回復するためボイラ自体を外部から加熱しているが、その熱源としては現在は都市ガスバーナで下方より熱している。これをカーバーベキューと称している

(b) 有人カー2号車の準備と未来カー；

四輪車の2号車を現在準備中である。2号車は木炭もしくは豆炭を熱源とし、スチームカーと濃度差カーのハイブリッドをねらっている。このような自動車は図-16に示すような未来の大自然エネルギーカーと念頭においている。同図のものは自動車自体及び家庭における太陽熱と風力やごみ熱、等によって水溶液を濃縮し、その保有するエネルギーだけで走行する濃度差エネルギーシステム自動車であり完全な脱石油、石炭カーである。なお溶液としては現在のものより高出力のものが見たい。

3.5. 濃度差エネルギーシステムとしての利用

(a) ソーラー暖冷房システム

さてこのシステムをソーラー暖冷房へ応用するに

は、図-17のようなシステムが考えられる。すなわち同図のものは、太陽熱収熱器で水溶液を加熱濃縮し、その濃縮された水溶液によって塩水エンジンを駆動し、その動力でヒートポンプもしくは冷凍器を動かして暖冷房を達成しようとするものである。本方式は水溶液システムの代わりにアンモニアシステムを使用することにより低温地域への利用が可能となる。

(b) 海洋エネルギーの補集

このシステムの応用として図-18に示すような形での海洋エネルギーの補集と輸送が考えられる。すなわち海上ステーションで、太陽熱、風力、波力、海洋温度差を補集して単一の水溶液（たとえば NaOH 水溶液）を濃縮する。このさい入力エネルギーの相互温度差レベルによって濃度の異なる領域の溶液を濃縮させる。そして十分濃縮されるか、もしくはドライの状態となった NaOH を NaOH タンカー

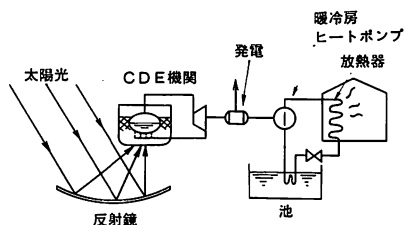


図-17 濃度差エンジン利用ソーラー暖冷房システム

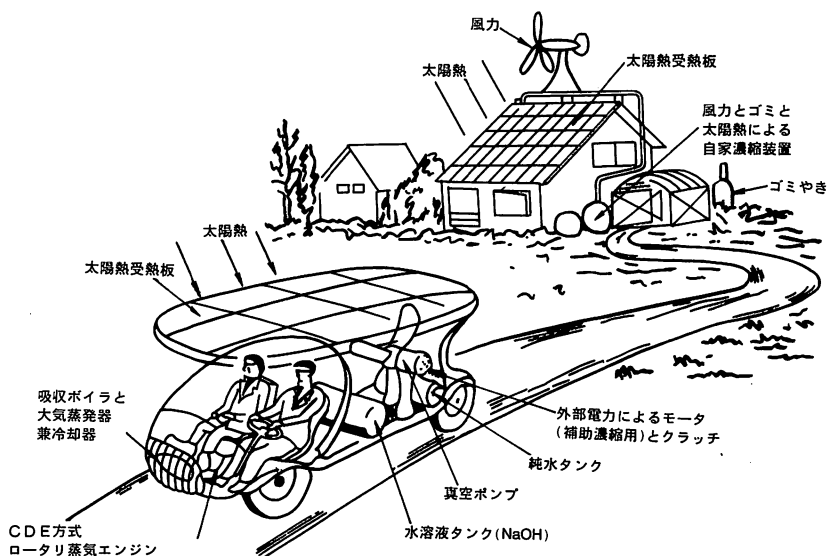


図-16 大自然エネルギーによるマイカー（自ら太陽熱と風力とゴミ熱を蓄積するが、自家太陽熱および外部給電を補助として使用してもよい）

に積んで陸岸に送り、岸壁に横付けされている状態で、船内の塩水エンジンを作動して発電して電力を地上に送る。

このシステムによると、NaOHタンカーは現在の重油タンカーの約20分の1のエネルギー量しか輸送できないが、海上ステーションが十分近距離にあればその合理性も生じて来よう。

なお NaOHタンカー以外に、アンモニアタンカーの方式も考えられる。

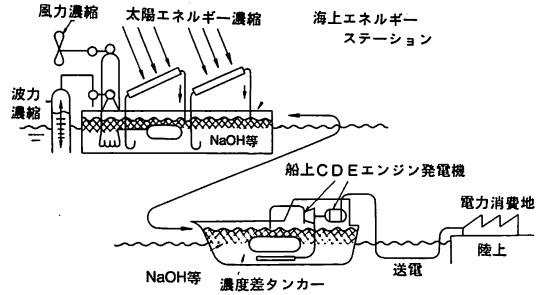


図-18 海洋エネルギーの蓄積と輸送と発電

(c) 工場排熱の動力化

工場排熱を動力化するには通常フロンタービンによる方式が最善と考えられているが、とくに排熱側や、利用側の出力や入力変動が大きいときには、エネルギー蓄積体を間に置くことが必要となり、そのために CDE システムの有するエネルギー蓄積性を活用する余地が生ずる。またエクセルキー活用の見地からは媒体の温度領域の広いことが必要となる。それらを満たす方向のものとして図-19に示すような排熱利用の CDE 動力化システムが考えられる。

図のものは二段の温度領域で水溶液を濃縮し、その両水溶液にて一ケの塩水エンジン（タービン）を動かすものである。

本方式により、エネルギー蓄積能力が他の場合に比して数倍に高められることとなる。

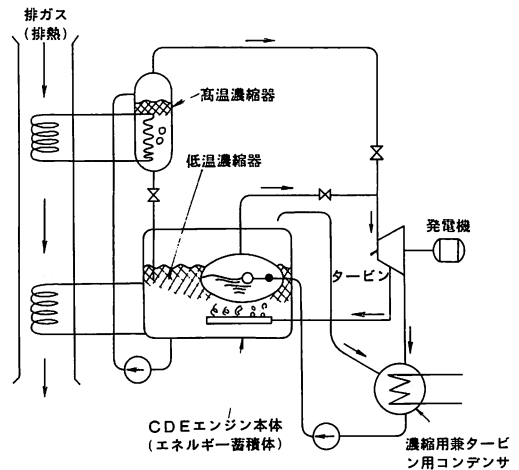


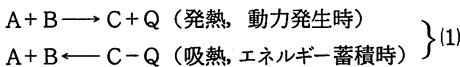
図-19 濃度差エネルギーシステムによる工場排熱の動力化

4. サーマケミカルエネルギー変換システムとしての濃度差システム

4.1. サーマケミカル反応とは

さてこのような CDE システムは、さらに一般化すれば水溶液ばかりでなく物理化学的反応の一つとしてのすべてのサーモケミカル反応を使用して形成できる、そのようなシステムをサーモケミカルシステムと称することができる。

それにはAとCを固体もしくは液体、Bをガス又は蒸気とするとき



なる可逆的な物理化学反応（サーモケミカル反応）があればすべて利用できる。前記の CDE システムでは Aが蒸気、Bが濃い水溶液、Cが蒸気を吸収したうすい水溶液であり、Qは吸収熱（蒸気の潜熱と稀釈熱の和）である。そして(1)式の上の式のプロセスは水溶液の蒸気吸収による発熱、下の式のプロセスは加熱による溶液の濃縮に相当する。

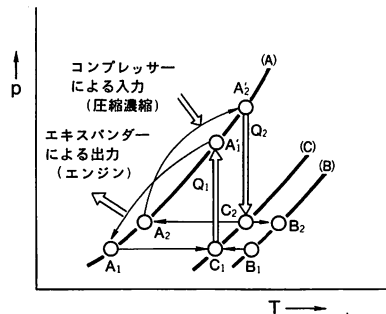


図-20 サーマケミカルエンジン（可逆サーモケミカル反応のエンジン化原理）

さてこのようなサーモケミカル反応に属する現象としては、

- (1) 塩類水溶液の蒸気吸収（吸収冷凍、CDE エンジン）
- (2) アンモニア塩化物や他のアンモニア化学物のアンモニア回収
- (3) アンモニアと水の混合液のアンモニア吸収

- (4) 脱湿材の蒸気吸収（シリカゲル，ゼオライト等）
  - (5) 金属水素化物の水素吸収（ランタン，マグネシウム等）
  - (6) 塩類水化物の水蒸気吸収（CaO，Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>）
  - (7) 一般の可逆化学反応（1)式のAに相当する一個のガス成分を有するもの，例えばSO<sub>3</sub>の分解）
- 等があり，将来もっと種類が増すと考えられる。

さて図-20のP~T線図でこれらの現象を一般化すると

- (A) は純粋蒸気発生物質（蒸気のときは水）Aの蒸気圧曲線もしくは平衡ガス圧力曲線
- (B) は濃厚物質（ポテンシャルの高い物質）Bの相当曲線
- (C) はうすい物質（ポテンシャルの低い物質）Cの相当曲線である。

いま(A)曲線上のA<sub>1</sub>よりの蒸気が(B)曲線のB<sub>1</sub>に吸収されて(C)曲線上のC<sub>1</sub>となるさいに発生する熱Q<sub>1</sub>はA<sub>1</sub>'点で物質(A)に再供給され，A<sub>1</sub>'の蒸気圧がもとのA<sub>1</sub>点より高いのでA<sub>1</sub>'からA<sub>1</sub>まで蒸気もしくはガスが膨張可能となって，そのさい任意のエキパンダーによって動力を発生できる。A<sub>1</sub>の圧力まで膨張した蒸気もしくはガスは再びB<sub>1</sub>に送られて吸収され同じ現象を継続できる。この原理はCDEエンジンでは実現されているがこのように一般化される。

同様に蒸気もしくはガスA<sub>2</sub>を任意のコンプレッサーで圧縮してA<sub>2</sub>'に昇圧し，そのさいの凝縮熱もしくは圧縮熱をC<sub>2</sub>に送り込むときはC<sub>2</sub>はA<sub>2</sub>とB<sub>2</sub>に分離し，広義の濃縮効果を生ずる。この逆方式は海水の蒸気圧縮方式による淡水化で実現され，またCDEシステムの力学的大自然エネルギーによる動力濃縮などに利用されている。

さて上記の一般化されたサーモケミカルエンジンのCDEエンジン以外の例としては金属の水化物化を利用する可逆水素エンジン（兼暖冷房システム）がある。

西独ではこのシステムをH<sub>2</sub>自動車などのH<sub>2</sub>燃焼エンジンシステムとハイブリッドさせることを提案している。

他に生石灰利用の生石灰スチームエンジンも研究されている。このように見るとときはCDEシステムとそのエンジンはすべてのサーモケミカルシステムとエンジンの原型といえよう。

また逆にすべてのサーモケミカルエネルギー変換システムは広義の濃度差エネルギーシステムといえる。

### 5. 大自然の濃度差による一次エネルギーの発生

さて筆者の研究のキッカゲが海水と河川水間の塩分濃度差のような大自然濃度差よりの発電であったように，問題をもとへもどして濃度差エネルギーシステムの方法による大自然よりの一次エネルギーの発生が研究される必要がある。

この命題に対する解答としてはまず浸透圧力差を利用して水タービンを回す，いわゆるOsmo-Hydro発電が考えられ，米国等で主として化学工学者による多くの研究や計画がある。しかしこのさいの問題点は浸透圧用の半透膜の抵抗と強度で，海水では約200 m水頭の圧力差に耐えねばならない。現在は極めて小孔径の細管が使用されようとしているが多くの困難が残っているようである。

ついで濃淡電位による濃淡電池方式であるが，これも発生電位差が小さく，界面抵抗の大きいことでもかなり難しい。

結局著者らの示したCDEエンジンによる熱的な直接発電方式が大きく浮び上って来た。しかし生の海水に対しては，沸点上昇温度差が僅か1℃くらいしかないのではやはりポテンシャル不足であり，例えばイスラエルの死海のように大自然によって濃縮された塩湖などへの適用が考えられよう。

さて実際上は塩水エンジンを何段にも重ねて温度差を上昇させる方式と，いわゆる海洋温度差による温度差発電とハイブリッドさせて安定化する方式とがある。図-21には筆者の案として，河川水をまず上層の海洋温度と同じ温度としてフラッシュを蒸発させ，その蒸気でタービンを回した後深層よりの低温海水に直接に

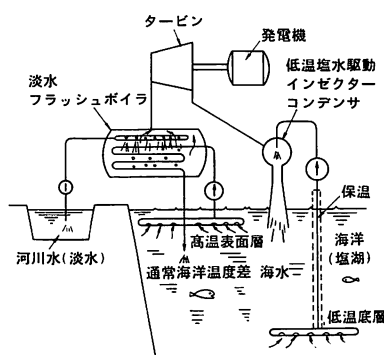


図-21 海洋温度差と海洋濃度差のハイブリッド発電（一色案）

凝縮させ、このさい河川水の蒸気圧と低温海水の蒸気圧との間には通常海洋温度差プラス濃度差による沸点上昇温度差の相当差が生ずることを利用するものを示す。

この方式を自然塩湖に用いるときは大きな利得となる。

## 6. 結 言

以上のように濃度差エネルギーシステムは、可逆サーモケミカルシステムの一つとして一般化されることを示した。そのうちとくにここに示した CDE システムに関しては筆者らがすでに数年来実験を試みている所であり、現在は鉛バッテリーなみの単位重量当り比動力にはば近づき得る所まで来ていることを示した。

このようなサーモケミカル反応によるシステムは、必ずしも石油や石炭等の燃焼による可逆エネルギー源を必要としないので、脱石油後の大自然エネルギーや工場排熱のような低温度差、低密度差の代替エネルギーや海水の一次濃度差エネルギー等を動力化することに大きな希望を持つことができる。

筆者らの現在のシステムはリチウムやカルシウム塩を利用するものであり、価格、材料、耐食性等について一応の解決点に到達している。しかし今後一層の研究が必要であり、また他の塩や溶液の研究も必要であり、かつサーモケミカル反応や一般的な見直しと実験が必要である。とくに動力化ばかりでなく簡単な方法による熱および他種エネルギーの長期蓄積および放出は、あらゆる面で人類の未来の大きな課題であり、本文に述べた濃度差システムによる方法はそのごく端緒例であるに過ぎない。とくに若い技術者諸氏がこの方面を大いに開拓されんことを願いつつ本解説を了えたい。

## 参 考 文 献

- 1) 一色; Development of CDE Engine and System, Proc 14 th IECEC Boston vol. 2 - 799430 (1980)
- 2) 一色; Storage and Energy Conv. by Aqueous Solution, of Salts, Proc. Int. Seminar, on Thermo Chemical Energy Storage, Stockholm. 301 (1980)
- 3) 一色; ポストエネルギー 社会思想社 (1980)
- 4) 小野 (他); エネルギー蓄積輸送工学 オーム社 (1979)

## 話 の 泉

### 発展途上国に省エネセンター設立

通産省・資源エネルギー庁は57年度新政策で発展途上国に「省エネルギー移転センター」(仮称)を設置し発展途上国の省エネ推進に協力する方針を固めた。これは相手国政府と設置、省エネ技術の開発・移転、人材の育成や省エネ政策のコンサルティングを行う。

第2次石油危機以降、発展途上国では省エネに対する関心が急速に高まり各国とも省エネ推進に政策の重点を置き始めている。

その際わが国を1つの模範として参考にするところが増えており、今年1月にはシンガポールから「エネルギーミッション」が来日わが国の省エネ政策の仕組みや中小企業分野における省エネ対策、例えば56年度から実施の「省エネ診断パス制度」について詳細な説明を受けた。帰国後シンガポール政府は資源エネルギー庁に自国の省エネ政策を進める上で

大変有益であったとの感謝状を贈ってきた。

またタイ政府は省エネルギー法や省エネルギーセンターの設立を計画、わが国に省エネミッションを派遣してほしいと要請してきた。このため通産省と国際協力事業団では省エネ専門家ミッションを同国に派遣し指導に当たった。

さらに中国は現在、馬儀国家経済委員会副主任を団長に來日、省エネに強い関心をみせており、サウジも省エネ相談をもちかけてきている。

このように産油国、非産油国を問わず発展途上国の省エネに対する関心が高まってきている。しかし国民レベルでは省エネに対する意識や知識がほとんどなく笛吹けど踊らず。そこでわが国の専門家が常駐して、ケースバイケースに現状分析して対応策を立てる手助けを行う計画。

(K)