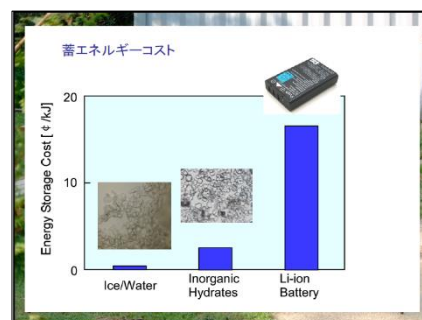


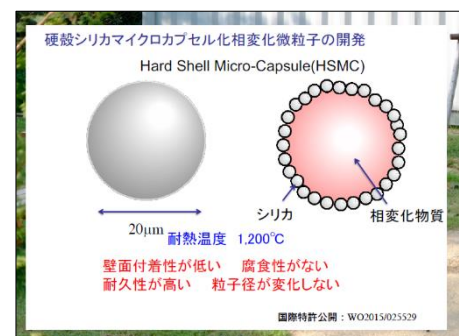
鈴木教授（2020. 2. 13） ご講演（要旨）

- 研究室では化学工学の中のレオロジーと言う分野を主に研究。もともとは乱流抵抗低減という技術を研究。摩擦係数が大幅に低減される技術。より効率の良いものを探求して潜熱輸送を始め、その経緯から「硬殻マイクロカプセル」に至っている。
- 一次エネルギーの消費量を見ると、石油ショック後は、石油を使わず、原子力に移行したが、原子力も具合が悪くなり、新エネルギー開発に至っている。
- エネルギー使用を、産業、民生、運輸の各部門と分けると、産業部門の消費はさほど増えていない。しかし民生部門は非常に大きく増え、民生の省エネを考える重要性は高い。
- 大地震で原子力発電所が事故を起こし、今は火力がメイン。CO₂問題へ対応から、再生可能エネルギーへの転換も非常に叫ばれる。このため、太陽光や風力の発電が注目されるが、このまま進めるかは非常に難しい。ソーラーカーには蓄電池が不可欠、風力も風車を風向きに合わる程度の発電量という状況。
- 再生可能エネルギーの最大の問題は、電力ではメガ、ギガレベルの大量の電力、エネルギーを貯めることが出来ないこと。また、コストも重要。蓄熱材とリチウムイオンバッテリーを比べると、桁レベルの違い。
- 民生部門が利用するエネルギーは全体の約3割、その半分以上が“熱”を利用。つまり民生は熱エネルギーがあれば良い。主には暖房や給湯での利用に使われる。
- 民生で使う熱エネルギーの出元として、産業界での未利用熱に着目。産業界は、非常に熱を使うが、100℃を下回る温度では使えず、捨ててしまう。しかし民生は50℃の熱で利用ができ、大きな熱エネルギーの削減になる。
- 量的にも、民生では大体2.0エクサジュール／年（エクサは10の18乗）一方で、工場や発電プラントの「未利用熱」の合計は、2.6エクサジュール程度。すべてを民生利用できれば、大きな熱エネルギーの削減になる。



- しかし未利用熱の利用には、越えるハードル、「サーマルギャップ」がある。
 1. 「時間的な熱ギャップ」＝需要と供給のバランス。
例：工場の排熱は、昼間に発生し家庭では夜に熱を使うというような時間的な熱ギャップ。
 2. 「温度的な熱ギャップ」＝使用時の温度と未利用熱の温度差を埋める。
例：利用時は50℃くらいで良いが、温度調整にヒートポンプを使い冷水を作るようことを考慮する。
 3. 「空間的な熱ギャップ」＝発生場所と利用場所の空間を埋める。
(私の研究はここが多い。)
- 「サーマルギャップ」を埋めるために、時間的な熱ギャップでは「潜熱蓄熱」を、温度的な熱ギャップには「化学蓄熱」を、空間的な熱ギャップを埋めるためには「潜熱輸送」(鈴木教授の造語)の技術を用いる。
- 「潜熱輸送」では、潜熱を持った微粒子を熱媒体に入れて輸送する方法を検討している。熱を熱のまま使うのが理想的と私は考えている。
- 方法として、トラックの荷台に蓄熱材を積み、潜熱を貯めて、利用場所まで運ぶローリー式の潜熱輸送は、蓄熱材は非常に安い、運転手の人件費でコスト的にはすべて飛ぶ。パイプ輸送が現実的。パイプ輸送に比べ、ローリーはインフラ初期投資が非常に小さいが、長年では人件費が非常に問題になる。
- 潜熱蓄熱材は、多種多様。低温系には氷や包摂型の水和物であるトリニチルエタンの微粒子、パラフィンがエマルジョン化して移送の報告がある。高温系には、無機水合物や多糖類を使用するが、利用は非常に難しい。
- 潜熱輸送の良い点を「利用可能熱量」の観点から、4 B管使いシミュレーション。
1 kmの熱輸送をして、末端で利用できる熱量に対するポンプ動力と、流速をどこまで落として温度が変わらないかを調べた。
- 潜熱輸送でも水で運ぶ顕熱輸送でも熱損失はある。しかし潜熱輸送の場合は、未利用熱が出てきたところ50℃だと末端でも50℃で運べる。そうすると熱交換効率が非常に高いことが容易に想像できる。
- 水だとゆっくり流そうとするとポンプ能力がガッと下がるが、そうすると温度が熱損失で変わる。50℃が40℃くらいになる。これでは意味がない。潜熱輸送では変わらない。ポンプ動力を下げようと思うと、流量を下げるのが一番良いが、流量が下がる。
- 蓄熱材を2割くらい入れると3倍の熱量を運べる。3倍の熱量を運べると、流量を3分の1に。流量を3分の1にすると、およそですが、摩擦係数は2乗に比例して、ポンプは3乗に比例するので、非常に大きな動力削減効果がある。熱の供給システムの一番のネックはポンプ動力。(水の顕熱で運ぶよりは、潜熱で運んだ方がポンプ動力は5分の1になる)。

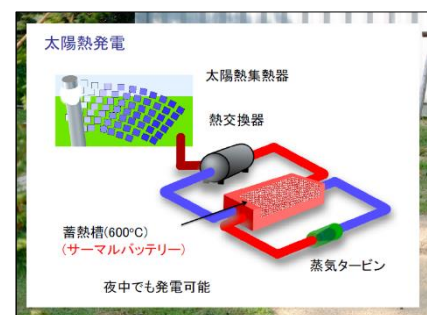
- 熱を無料でもらってもポンプで運ぶ。地域冷暖房のネックは、ポンプを止められないこと。いつ、だれが、どのように使うのかわからないので、ポンプを止められない。そのためランニングコストが非常に大きく、日本ではなかなか地域冷暖房が広まらない。ところが、ポンプ動力の電気代が5分の1になる。そうすると技術的に熱供給ができる。
- また、伝熱量は大体2割から3割上がり、非常に伝熱が良く、ポンプ動力を下げられるので、非常に理想的な熱供給システムができる。
- 今検討している階層型未利用熱利用システムは、潜熱蓄熱と化学蓄熱で温度変換し、潜熱輸送で冷水と温水、排水を持ってきて、更にそれを加熱するようなシステムを、自治体とも共同して検討している。
- これがうまくいくと、排熱が出てくるところ熱を全部集め、大都市圏などのみんなに供給するというサーマルグリッド構想を我々は打ち立てている。
(図は神戸をイメージし、地熱プラントは有馬温泉、バイオマスがあり、都市には神戸や大阪をイメージ)
- ところが、潜熱輸送には非常に大きな課題がある。特に高温系。低温系は簡単。低温系はシステム停止により、蓄熱材の粒子が溶ける。しかし高温系では、作動中はある程度理想的な粒子量が保たれる。しかし、停止するとザアアッと結晶が出てくる。この結晶により配管が詰まったり壁に付着したりする。この制御がなかなか難しい。高温系の潜熱輸送が難しい理由。
- この研究も、以前は我々しかしていなかったが、日本で少し増え欧州ではかなり増えている。しかし、ここはクリアできないと諦め、今は、「カプセル化」にシフトしている。
- 大概の仕組みは、大体20ミクロンくらいのカプセルの中に蓄熱材を入れる。
- マイクロカプセルには樹脂カプセルもある。しかし、樹脂カプセルでは中に入れる蓄熱材がパラフィン系に限られること。機械的・温度的な強度とか、耐久性が非常に問題になり、シリカのカプセルにした。
- シリカは耐熱温度が非常に高く、壁面への吸着力が、特に金属では非常に弱い。癖が無く腐食性が無いので、うまくいくという事。
- 作り方は、わざと穴の開いた中空のカプセルを作り、穴から蓄熱材を溶かして入れる。この方法は、シリカと反応する成分は入らないが、反応しないものは、何



でも入る。色々な蓄熱材が入れられる事から、理想的な蓄熱材ができると考えた。カプセルは、写真のように中空の球形。大体75vol%の蓄熱材を内包できる。驚くべきことにこの蓄熱材は、非常に良い特性を示した。

- 良い特性の一つに、潜熱蓄熱材の過冷却の課題が克服できたこと。従来は、蓄熱材候補の無機水和物の中に数十度の過冷却を示すものもあり、このため蓄熱材としては使えないと90年代頃は言っていた。しかし、複数の素材をカプセルに入れて試したが、本来数十℃の過冷却傾向を示す無機水和物が全く過冷却を示さないことが分かっている。
- なぜかはわからないが、過冷却を示さない素材として、しかも無機系で利用できることで、用途が広がる。
- これが、我々が示す未来社会。
非常に温度コントロールが難しい反応に蓄熱材でブレをなくすとか、ラジエータに入れる、電装パッケージ、アスファルトへの混入によるアスファルト削減等につながる。マイクロカプセル蓄熱材は粉状なので、塗料や壁材に入れられる。潜熱輸送を考えて作ったが、普通の潜熱蓄熱にも使える。
- 無水和物へのこだわりは、水よりも（蓄熱量が）大きい点もある。パラフィンは過冷却を示さない蓄熱材として有名だが、蓄熱量は非常に小さい。蓄熱材で重要なのは、単位体積当たりに、どれだけの熱が貯められるのかという点。単位質量あたりではない。
- 輸送する場合は、粘度も関係する。もともと研究していた抵抗低減法における、PEOという高分子を用いた消防用の放水実験では、わずかに高分子を入れると3倍くらい飛ぶようになり、実用化されている。
- これには、界面活性剤をメインにした抵抗低減の研究をしていたが、界面活性剤には自己組織化というポリマーのような構造を勝手に作る特性がある。ポリマーは、ポンプ等を通ると切れるが、界面活性剤は分子が小さく、構造が壊れても、すぐに再生する特徴がある。これは地域冷暖房とかに応用され、70%くらいの流動抵抗の低減効果がある。これにポリビニルアルコールを加えると、界面活性剤が巨大化する。
- カプセルは、はっきり言って重い。シリカ自体の密度が2200あって、蓄熱材が1200から1800くらいあり、水に入れるとスッと沈んでしまう。この巨大化した界面活性剤の構造は、分散特性、つまり沈まない、沈降抑制効果が非常に高い。（一番良い結果では、30日経過でほとんど沈まない。）
- カプセルを綺麗に分散させないと伝熱も悪くなり、輸送もできない。綺麗に分散させるために、先ほどの界面活性剤とポリマーとを混ぜて効果を見るという、この辺りはレオロジーであり、詳しい説明は割愛するが、非常に効果的であり、水よりも流動抵抗が小さいということが分かる。

- 化学蓄熱材の大きな特徴は、反応をさせなければ永遠に蓄熱出来ること。潜熱蓄熱は、徐々に周囲の温度に応じて熱落ちする。しかも化学蓄熱材の蓄熱量は潜熱蓄熱量の大体1.5倍はある。
- 化学蓄熱材を、圧力と温度を利用してうまく回路を組むと、ケミカルヒートポンプができる。これまで潮解制御、溶けすぎて、反応が進みすぎてしまうことが問題で、反応速度が非常に悪かった。ところがシリカのカプセルにこの素材を入れて反応させると、大体10倍くらいの反応速度を示す。これもなぜかはわからないが、カプセルが化学蓄熱材には非常に有効である。
- ケミカルヒートポンプの産業利用では、加熱と冷却の工程を繰り返し、排熱が沢山あり、冷水も沢山ほしいような、食品業界などに非常に有用。
- また、電気は貯められないので、太陽“熱”発電も研究している。熱を熱で貯め、この熱を使って蒸気タービンを回す。太陽光は昼しか発電できないが、熱を貯めた“サーマルバッテリー”を作ると、蒸気タービンを昼夜問わず回すことができ、コストが非常に安い。
- さらに進めて、例えば風力で発電し、余剰の電気で加熱器により熱をつくり蓄熱して、要るときにタービンを回すということをドイツでは実際に行っている。再生可能エネルギーは、電気で貯められないのであれば熱で貯めることが必要。
- スマホも次世代は発熱量が大きくなり、手に持てないほどの発熱になる。蓄熱をバッファにすることが検討され、蓄熱シートのようなものが必要になる。熱電素子と蓄熱材を組み合わせ、より長く発電することが出来る。こういう使い方を、某会社がセンサーで実用している。
- 蓄熱の世界は、アイデアが大切。新しい蓄熱材は無い。しかしアイデアで如何に蓄熱材を使いコントロールをするのが非常に重要。
- 毎年、潜熱工学シンポジウムを開催し、今年は設立10周年であり、既に開催日時と神戸開催は決定している。企業の方にも多数参加されており、是非神戸大学にて参加を。その場で会員となり会員価格で参加できる。



第10回潜熱工学シンポジウム

令和2年11月30日(月)・12月1日(火)

於: 神戸大学神大会館
(神戸市灘区六甲台町1-1)

主催: 日本潜熱工学研究会

参加費:

非会員	一般: 7000円	学生: 4000円
潜熱工学研究会会員	一般: 5000円	学生: 3000円

日本潜熱工学研究会
潜熱工学に関しての最新の技術を議論する全国組織

入会金・年会費: **なんと無料**

詳しくは: <http://www2.kobe-u.ac.jp/~hidema/latentheat/>