

はじめに

私たちの研究室では、主に原子力のエネルギーの利用のために伝熱と混相流の研究を基礎から応用まで行っています。それが、サウジアラビアでの海水淡水化研究に繋がっていきました。まだ道半ばですが、その研究を中心に紹介します。

熱工学とエネルギー工学は密接な関係にあることはよく知られています。

「伝熱」、文字通り熱が伝わるの意味ですが、「伝熱工学」という学問分野を聞いたことがありますか。

「混相流」という言葉を聞いたことがありますか？何が混ざっているのでしょうか？

気泡（バブル）のことを知ることはエネルギー利用のために、とても大切なことを、ご存じですか？

伝熱、混相流

温度が違う物体があると、温度が高い方から低い方へ熱が移動します。しかし、その熱の移動（伝熱）は、熱伝導、対流、沸騰、ふく射など、様々な形態があります。

物質の相（phase）は組成や物性が均一な熱力学的な状態を表しますが、気体・液体・固体などの状態のことを考えてもらえばよいです。複数の相が混ざった状態で流れる現象を、混相流と呼びます。

【質問】どんな相の組み合わせがあるのでしょうか？（例えば、気体と固体とか。）

【質問】もし、あるところで発生した熱が運ばれなかったらどうなるでしょう。

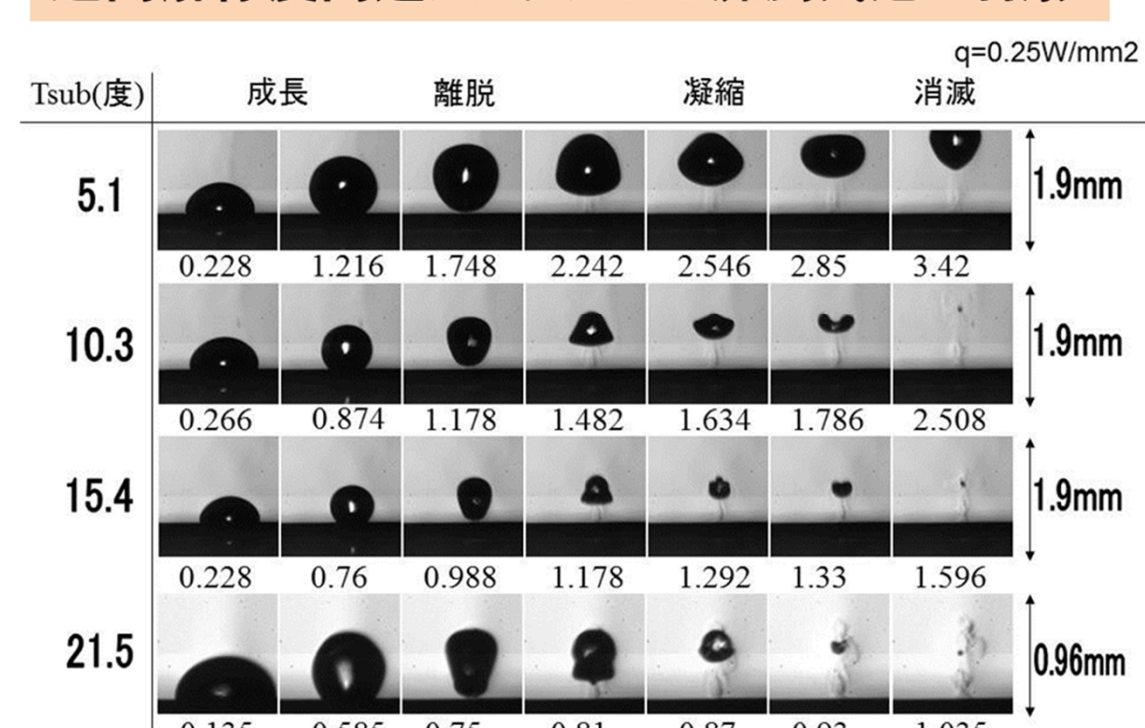
【質問】伝熱や混相流は、エネルギーを利用する場合に大変に重要な学問です。どうしてでしょうか？

熱を運ぶのに便利なのが気体や液体です。

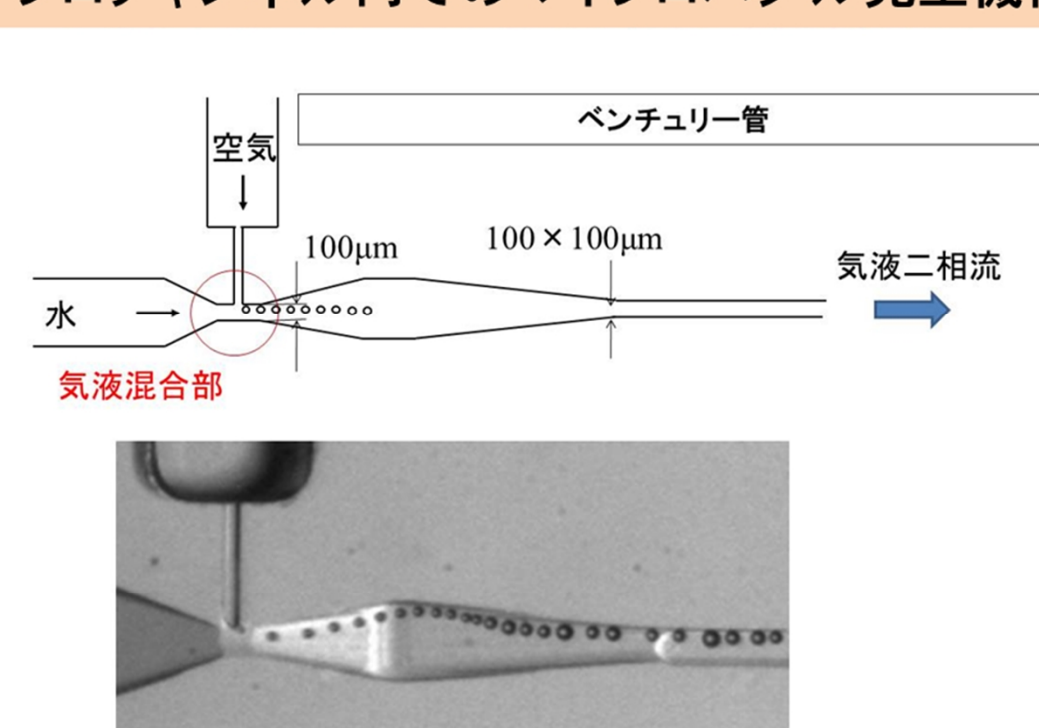
沸騰は液体が蒸発して気体になる現象ですが、沸騰すると非常に効率よく熱を運べます。沸騰のように、気体と液体が混ざった流れ（気液二相流）は、エネルギーの分野で非常に重要な現象で、気泡（バブル）の基礎研究も盛んです。だから、私たちの研究室（原子核工学専攻核エネルギー変換工学分野）では、伝熱や混相流の研究を精力的に行っています。

例えば、こんな研究を行っています。

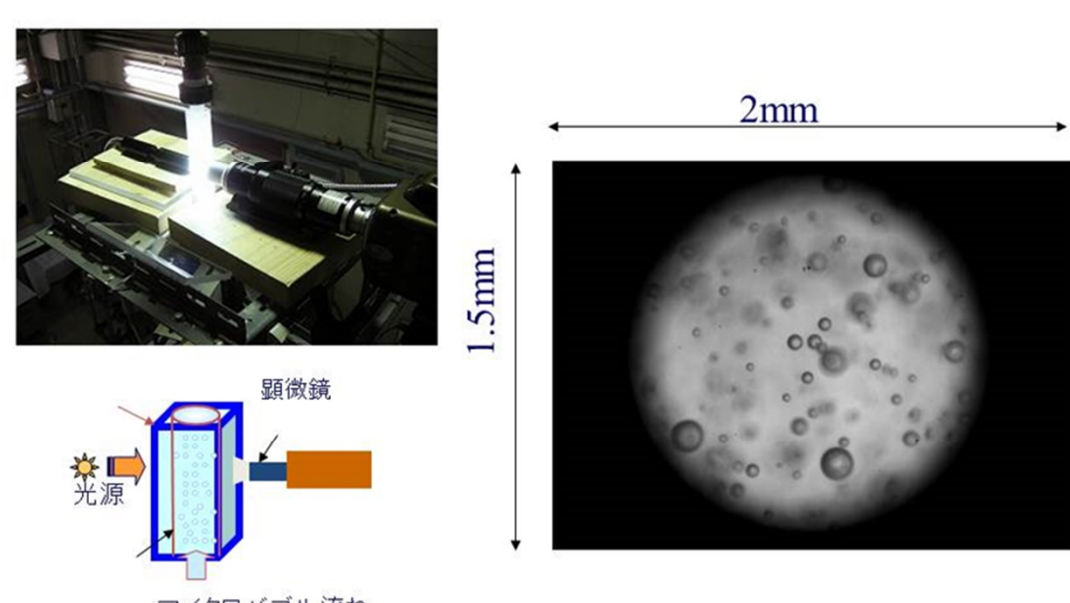
超高解像度高速カメラによる沸騰気泡の撮影



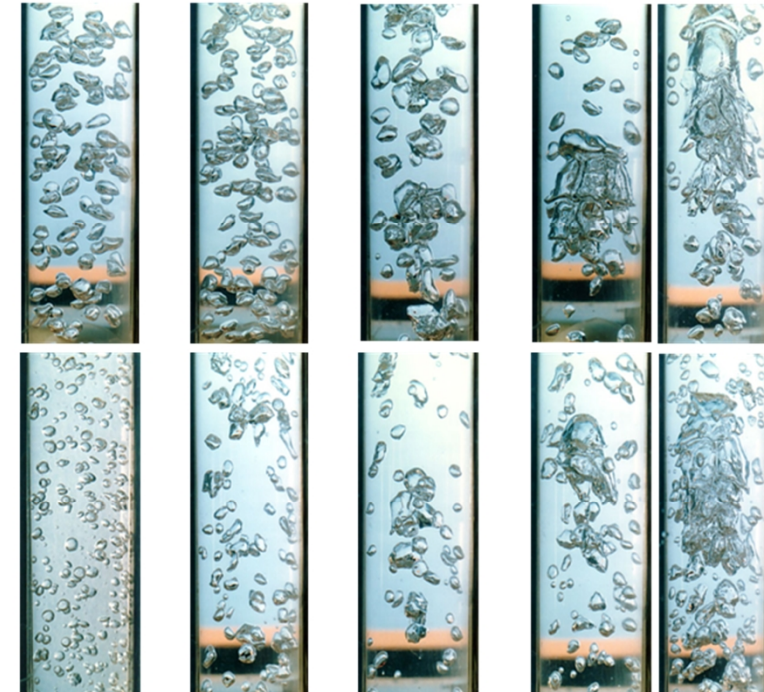
マイクロチャンネル内でのマイクロバブル発生機構



マイクロバブル管内流れ



原子炉内の気液二相流動（大きな気泡の流れ）



水はエネルギー 淡水資源はエネルギー資源

海水と真水（淡水）、私たちにとってどちらの方がより価値があるでしょうか。地球上の海水・淡水を合わせた水資源のうち、私たちが利用できる淡水はどの程度の割合でしょうか。

淡水は2.5%、比較的に利用しやすい淡水は0.01%とされています。

ほとんどの国が水不足に陥っています。そのために、濁水を浄化したり、海水を淡水化するなどして、淡水を得ています。

海水から真水を作るためには、塩分を取り除かなければなりません。英語では、海水淡水化をdesalination（塩分を取り除くこと、脱塩）という言葉を使います。

淡水化には、様々な方法がありますが、どちらも大きなエネルギーを消費します。したがって、淡水はエネルギーの塊と言えるのです。（食物は、同様にエネルギーの塊であるとともに、淡水の塊でもあります。）

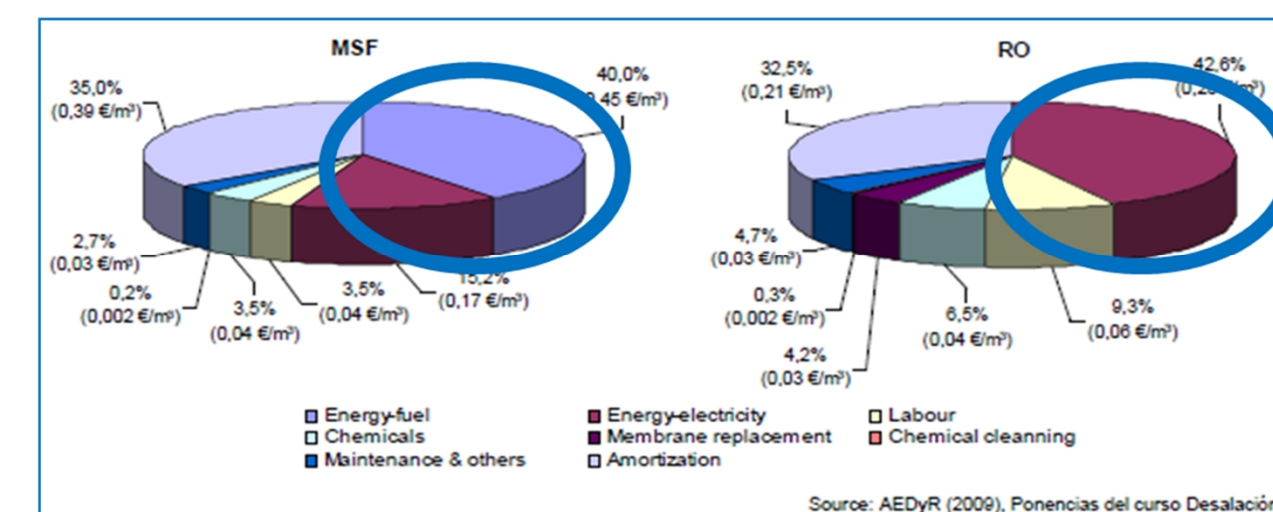
中東における水 海水淡水化

中東地域は石油エネルギー資源が豊富である一方、砂漠地帯が多く真水（淡水）の資源は非常に限られています。そのために、オイルマネーを使って、海水淡水化プラントを次々に建設し、ほとんどの淡水需要を造水でカバーしています。

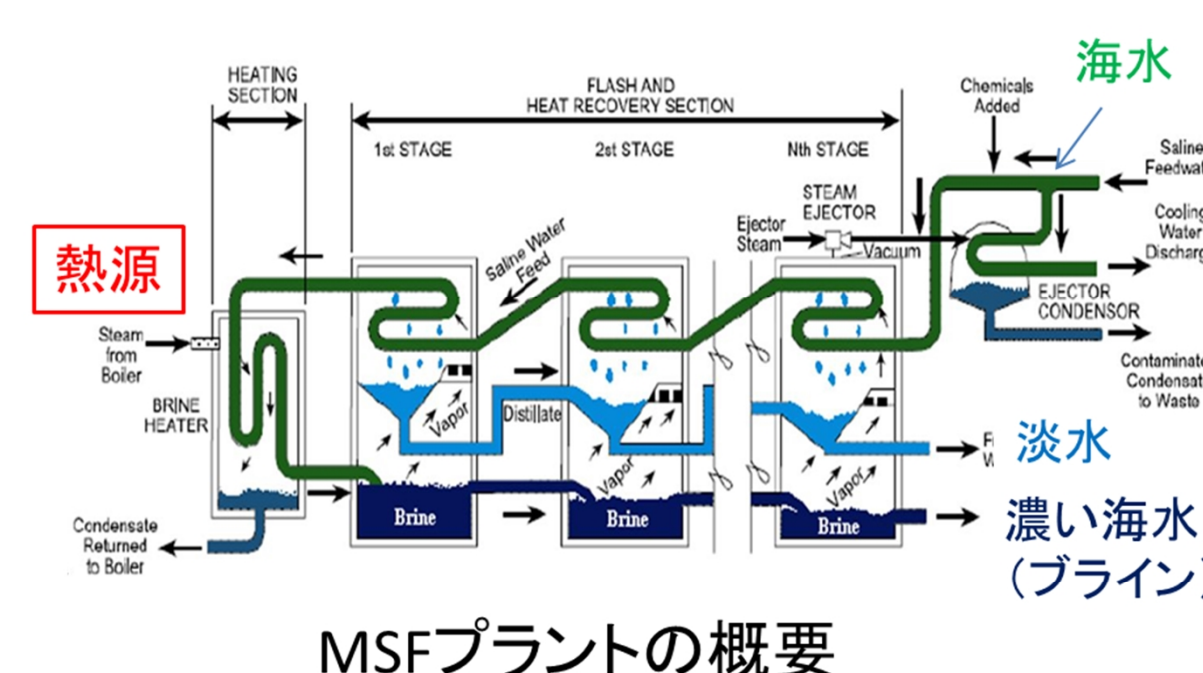
海水淡水化技術には、大きく分けて蒸発法と膜法があります。

膜法で最も主流なのがRO（逆浸透）膜法です。非常に小さな穴の開いた膜で仕切って塩分を濾過する方法で、淡水を製造します。高圧が必要で電気を多く使います。近年、大規模なプラントが次々と建設されていて、世界的にはRO膜法が主流になっています。

蒸発法は、古来より使用されてきた方法です。海水を蒸発させれば塩分が残るので、蒸発した水分を冷やして（凝縮させて）集めれば淡水が得られます。減圧沸騰（flash）のプロセスを何段にもして効率を向上させたMSF（多段フラッシュ法）が蒸発法の主流ですが、蒸発させる熱エネルギーコストが高く、中東以外では下火です。



MSFとROのそれぞれのエネルギー消費割合



オマーンのMSFプラント

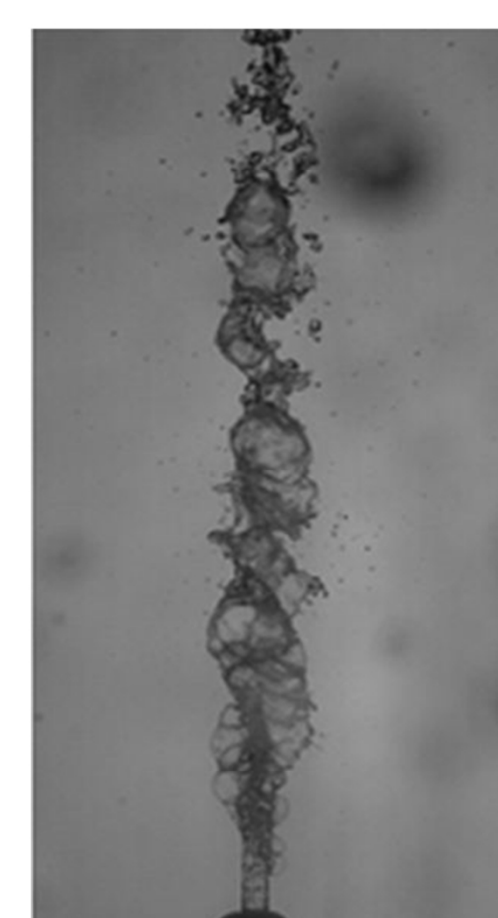
中東では他の地域にはない利点が蒸発法にあります。どんな利点でしょうか？

MSFは、シンプルな構造ですが、伝熱工学、混相流工学の点からは、改良の余地は残っています。特に、蒸発の効率を高めれば、各蒸発室の大きさを小さくできるので、コストが低減できます。

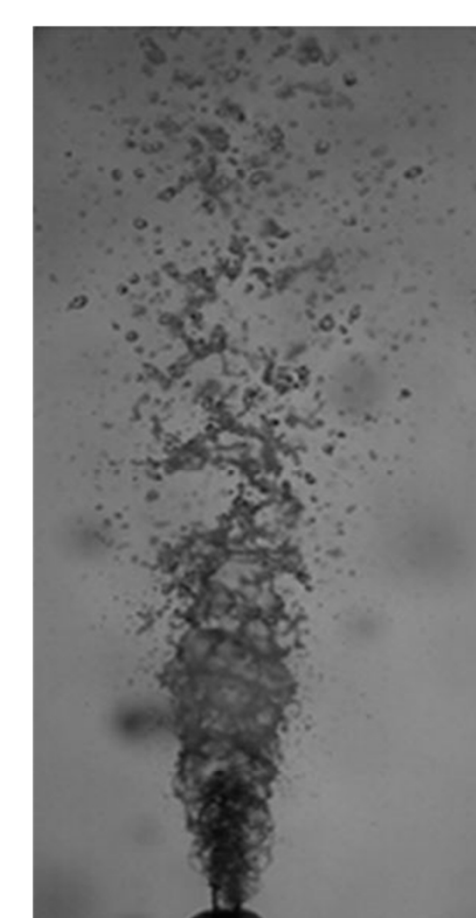
そこで、私たちの研究室では次のアイデアで研究を行いました。

マイクロバブル混入によるスプレイフラッシュの蒸発促進

溜まった水からの沸騰ではなく、スプレイ状のノズルから分散させて蒸発を促進させます。また、スプレイ水にマイクロバブルを混入させて早く分散させることを考えました。実験では、マイクロバブル混入によってスプレイ水の液滴分散が明らかに早まりました。今後の課題は、実際のプラントへの応用のための研究です。それは、実際にプラントの動いているサウジアラビアとの学術交流で進展を図る計画です。



マイクロバブル無し



マイクロバブル混入



実験装置（京大研究室に設置）

質問の答え（簡単に）

【質問】どんな相の組み合わせがあるのでしょうか？（例えば、気体と固体とか。）

気体と液体（「気液二相流」と呼びます。気体と固体（固気二相流）、液体と固体（固液二相流）、2種類以上の混ざらない液体（液液二相流など）、気体・液体・固体（固気液三相流）など。

【質問】伝熱や混相流は、エネルギーを利用する場合に大変に重要な学問です。どうしてでしょうか？

原子力・火力・地熱などのエネルギーを発生させて利用する機械（エネルギー機器）では、大量の熱が発生し、私たちはその熱を利用します。例えば、発電機を動かして電気を作るなど。（ただし、太陽光・風力・水力発電は直接運動エネルギーから電気に変えるので、熱はあまり発生しません。）熱を利用するために、熱を運ばなければなりません。冷却するということです。

【質問】もし、発生した熱を運ばなかったらどうなるでしょう。

熱が温度上昇に使われるために、温度が上昇します。場合によっては、溶けてしまうことも出てきます。安全に利用するために、発生した熱の分だけ冷却することが大切です。

サウジアラビアの大学との国際交流

サウジアラビアとの国際交流の経緯と状況

サウジアラビアの海水淡水化に関する研究拠点**CEDT**との学術交流の検討を、2012年から開始しました。(KURAと在日サウジアラビア大使館にお世話になっています。)

CEDTは高等教育省(日本の文部科学省に相当する)により**キング・アブドゥーラアジズ大学(KAU)**に設置された研究組織。

2014年には京都大学とKAUの**大学間学術協定**を結ぶに至りました。

両大学でのワークショップ(研究会議)を行いました。

現在、国際共同プロジェクト立ち上げのための交渉を行っています。

また、今年2-3月に大学院生がCEDTで実験研究を行いました。

交流相手の紹介+サウジアラビアはどんな国？

サウジアラビア王国 (Kingdom of Saudi Arabia)

首都 リヤド

面積 215万平方キロメートル

人口 約3000万人

観光ビザが発行されないで渡航しにくい国です。

ジッダ (Jeddah)

ジェッタと記すこともある。メッカの近くにあり、巡礼者のゲートになっている。古くから栄えた商都であり、文化の中心でもある大都市。人口は300万人を超えています。

キング・アブドゥーラアジズ大学 (KAU)

ジッダにある総合大学。キャンパスはとても広く、今も拡大中。学生は男女ほぼ同数で、合わせて7万人ぐらい(でも別区画)。

大学ランキングでは、中東においてトップクラス。

CEDT Center of Excellence in Desalination Technology

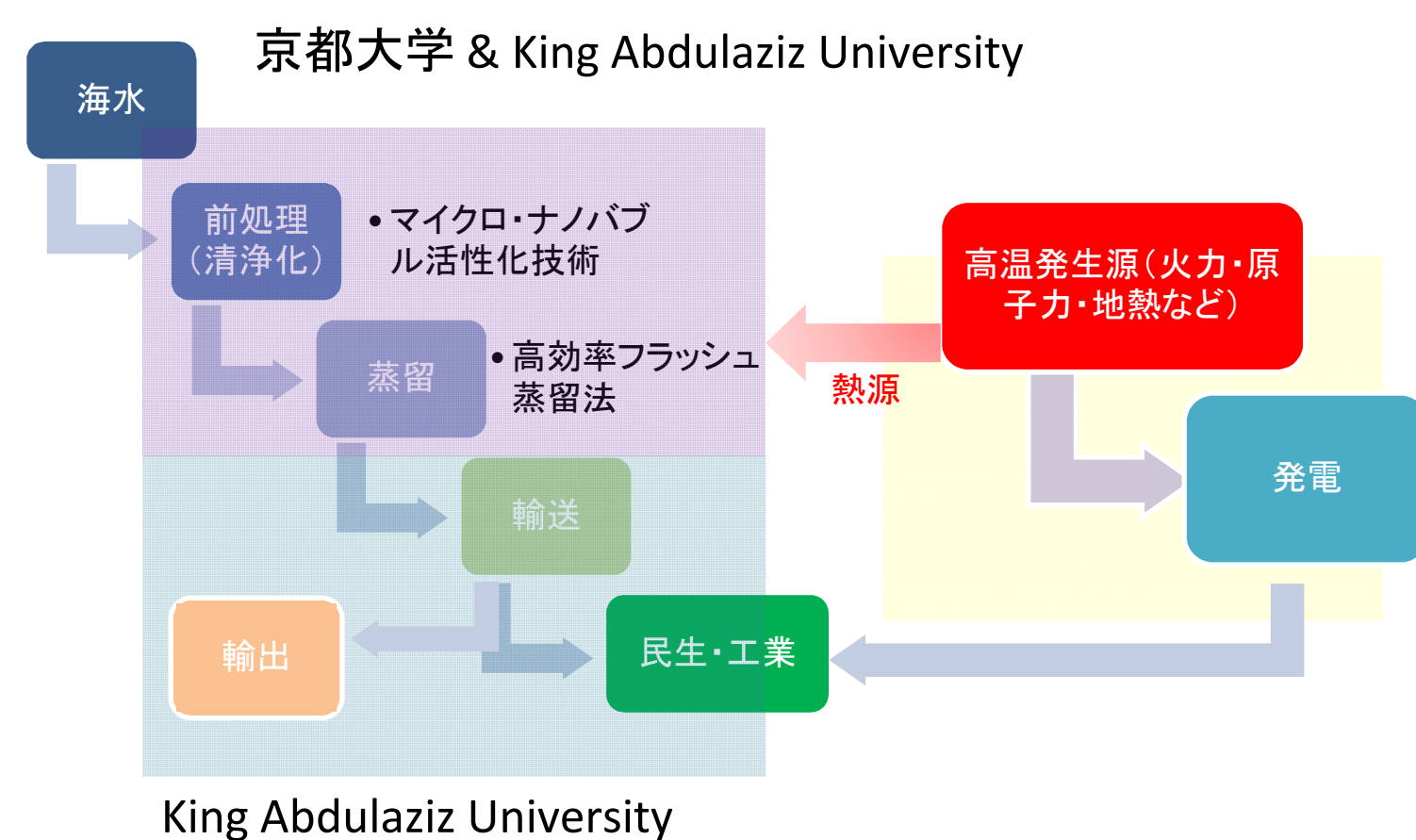
日本の文部科学省に相当する高等教育省によってKAUに設置された海水淡水化技術研究に関する研究拠点。



<http://www.sekaichizu.jp/>より

検討中の国際共同プロジェクト

「中東においてMSFによる海水淡水化技術はRO膜法に対して未だに潜在的な競争力を有している。伝熱工学と混相流工学によるMSFの各プロセスの高度化・高効率化は、MSFの競争力を顕在化することに大いに資すると考えている。京都大学は、基礎研究フェーズでの研究協力と人材育成協力を行う。」という方針で、プロジェクト立ち上げに努力しています。



共同研究プロジェクトのイメージ

将来展望・夢

CEDTによる共同プロジェクトのための現地ファンドの獲得されれば、京都大学とKAU(私たちの研究室とCEDT)の学術交流・人材交流が一気に進展します。

国際交流に付きものの異文化のための壁の存在と昨今の国際社会の状況で、当初の想定よりゆっくりとした進展ですが、一歩ずつ進めているところです。

将来的には、CEDTが中東地域における海水淡水化研究と人材育成における中心となり、私たちの学術交流が、京都大学の教員・学生が中東地域で活躍される契機となることを望んでいます。

どんなことに興味がありますか

紹介している研究テーマに直接関すること以外にも、例えば、以下の事柄にご興味があれば、ご遠慮なく質問してください。

できる限り対話させていただきます。

- エネルギーのこと
- 熱や流れに関すること
- バブルのこと(お金のバブルについては専門外で少し厳しいですが)
- 水問題のこと
- サウジアラビアのこと
- 大学での研究のこと一般 など。

サウジアラビア ジッダにて

話題提供用



大学内の礼拝室



CEDT研究施設



会議風景



ジッダ市内のショッピングモールのフードコート



ジッダ中心部の道路はすごく混んでいます。横断歩道がないため、道路横断はかなり危険



ジッダの旧市街

さらにご興味のある方は

研究室webサイト

http://www.ne.t.kyoto-u.ac.jp/ja/research/introduction/laboratory/n_energy

また、下記の関係教員のweb情報を検索してみてください。

功刀資彰教授、横峯健彦准教授、河原全作講師

今回の出展に関連する研究に対する助成

今回のサウジアラビアとの学術交流は、平成25,26年度に、研究大学強化促進事業 学際・国際・人際融合事業「知の越境」融合チーム研究プログラム-SPIRITS-の助成を受けました。
「サウジアラビア国COEとの海水淡水化技術の高度化に関する国際共同プロジェクト」
代表者:功刀資彰 プロジェクトメンバー 横峯健彦、河原全作他

平成27年2-3月修士課程大学院生の岡崎君によるCEDTでの実験のための滞在は、トビタテ!留学JAPANのサポートで行われました。

また、今回紹介致しました私たちの研究室での伝熱・混相流研究の一部については、現在下記の科学研究費の助成を受けています。

日本学術振興会 科学研究費 基盤研究(B) No. 25289354
「沸騰励起高周波振動に伴う燃料集合体の構造健全性に関する基盤研究」
平成25-27年度、研究代表者:功刀 資彰

日本学術振興会 科学研究費 基盤研究(B) No. 26289355
「核融合炉事故シナシスに照らした放射化ダストハザード研究」
平成26-28年度、研究代表者:横峯 健彦