

エネルギー・環境新技術先導研究プログラム

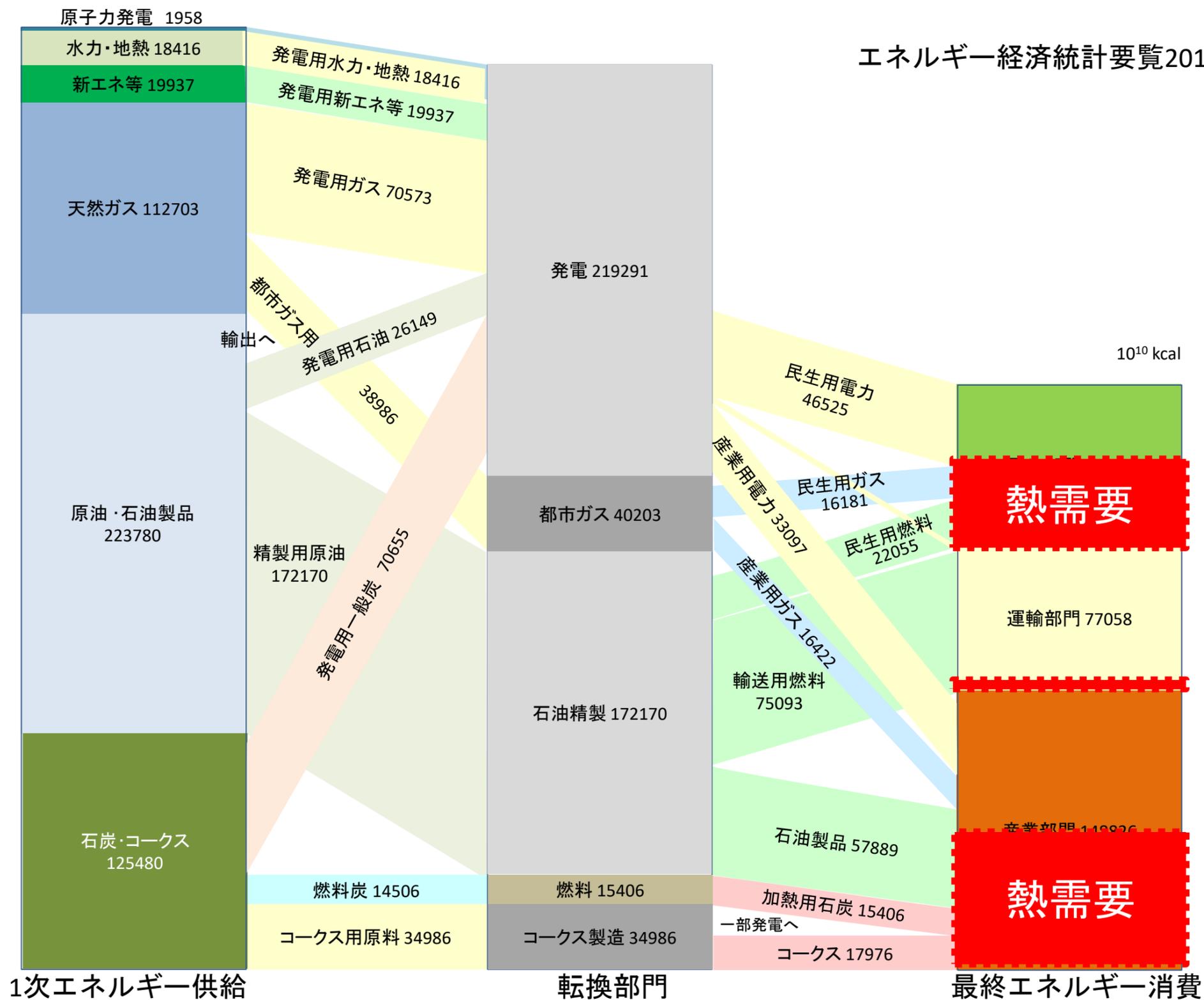
エクセルギー損失の削減に向けた 熱交換技術開発

プロジェクト実施者： 国立大学法人東京大学
学校法人早稲田大学
国立大学法人九州大学
国立大学法人横浜国立大学（2018年度）
日本カノマックス株式会社
国立研究開発法人産業技術総合研究所
株式会社UACJ
一般社団法人日本アルミニウム協会

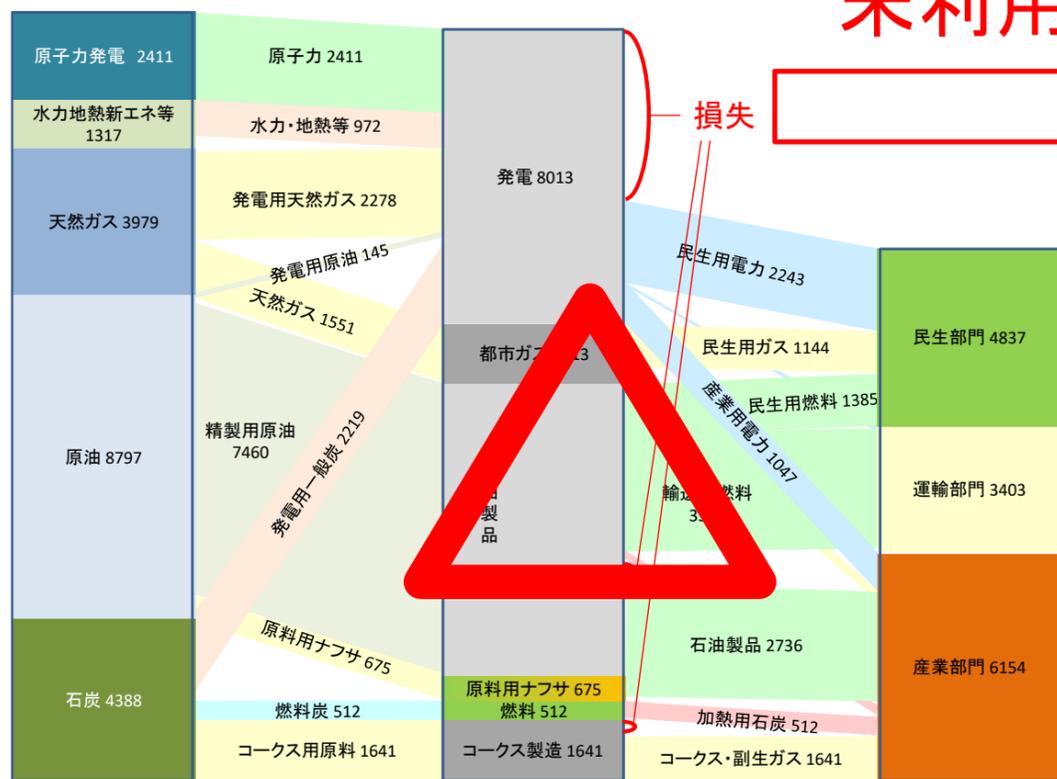
プロジェクト実施期間： 2018年5月～2020年5月



エネルギー経済統計要覧2017より作成



未利用熱利用



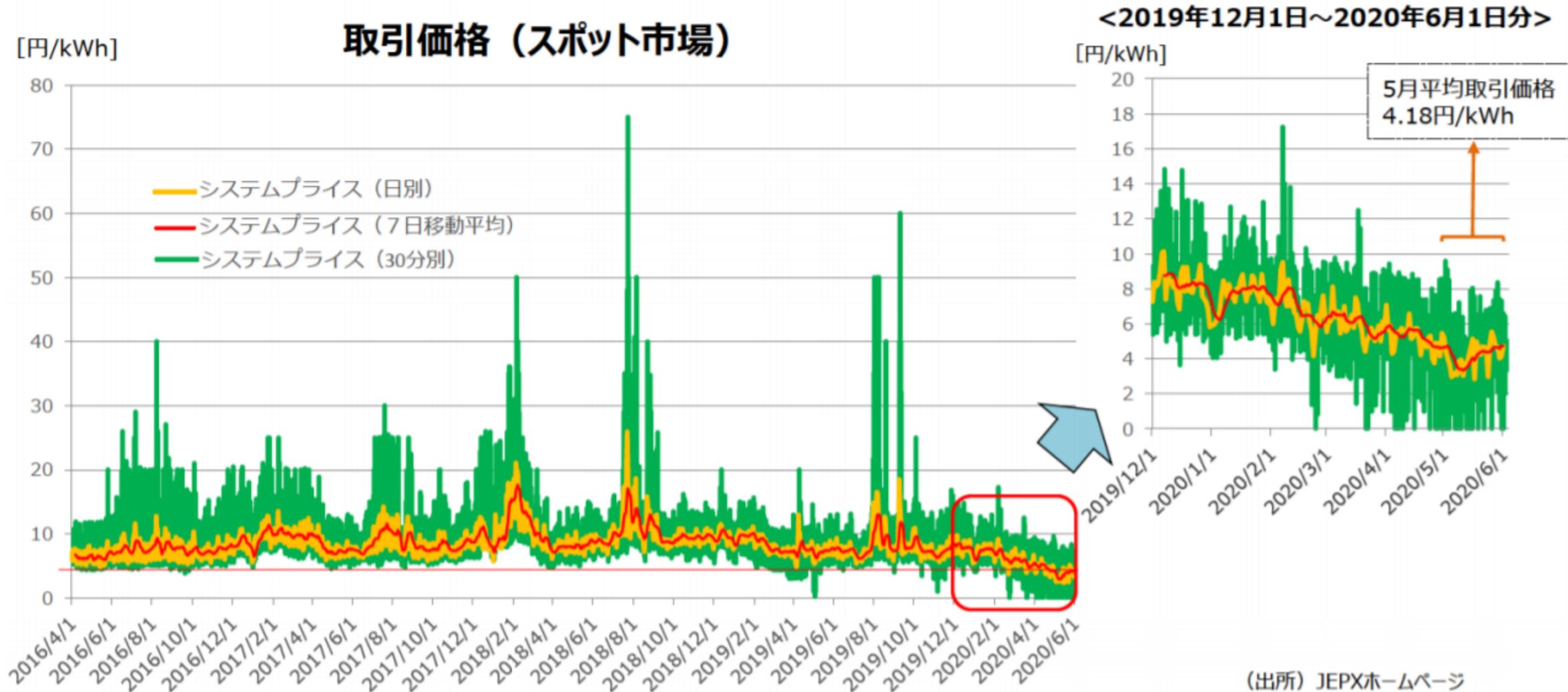
エクセルギー損失の抑制



- ① 加熱しない (真の需要把握, 断熱, 熱再生)
- ② 発熱するなら可逆的か再エネ熱
(高温電池, ヒートポンプ, 合成燃料, バイオマス, 太陽熱...)
- ③ 熱になってしまった後は, 小さな温度差で使い回す
⇒ 熱交換, 蓄熱, 熱輸送

電気が燃料よりも安く（なる時間帯が徐々に増えてくる）

- 卸電力取引所における取引価格は12月以降、減少傾向。
- 2020年5月の総取引量は211.7億kWh、システムプライスの平均値は約4.18円/kWh。この間、システムプライスが最低価格（0.01円/kWh）となったコマ数（30分別）は、114コマ。
- こうした市場動向は、短期的な需給の状況が市場に反映されたものと考えられる一方、長期的な電源投資に及ぼす影響について、注視が必要と考えられる。



需要側の重要性が相対的に増してくる (デマンドレスポンス, レジリエンス, オンサイト...)

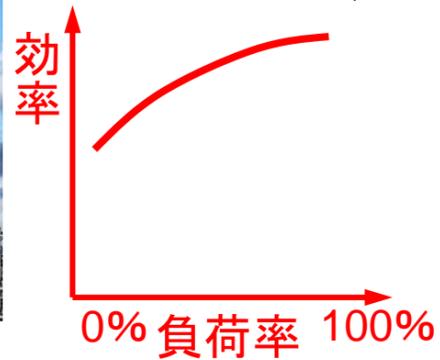
大規模・
集中・
重厚長大



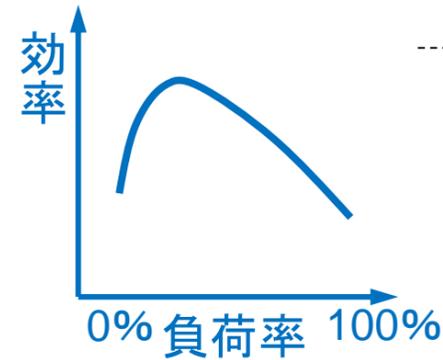
定格性能,
スケール
メリット



化学プラント



物理的寸法・
重量



小型・
分散・
軽薄短小



モジュール化学プラント



分散エネルギー資源

変動対応, 軽量,
コンパクト, 多品種,
リサイクル...

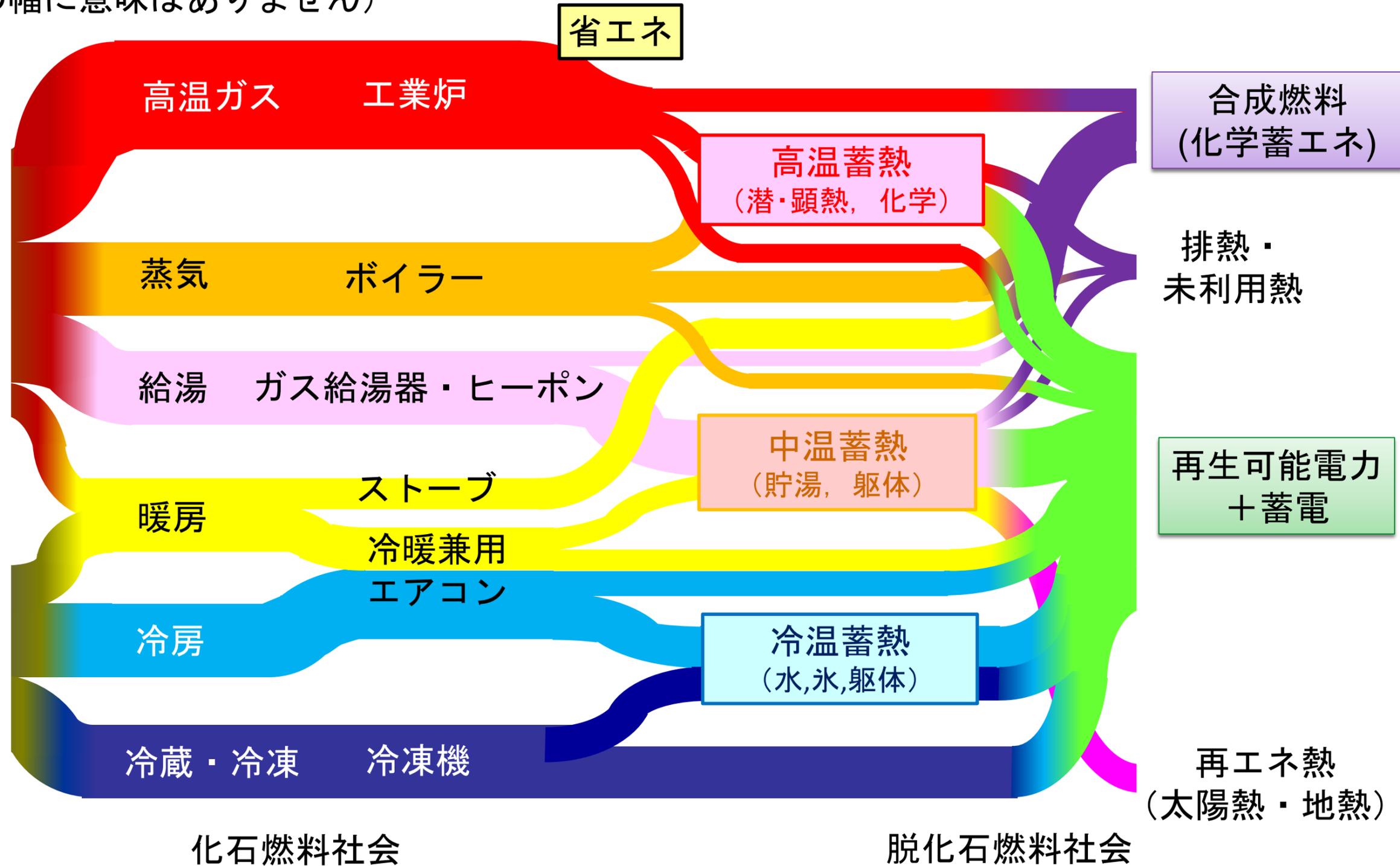
少・小

数・変動・種類

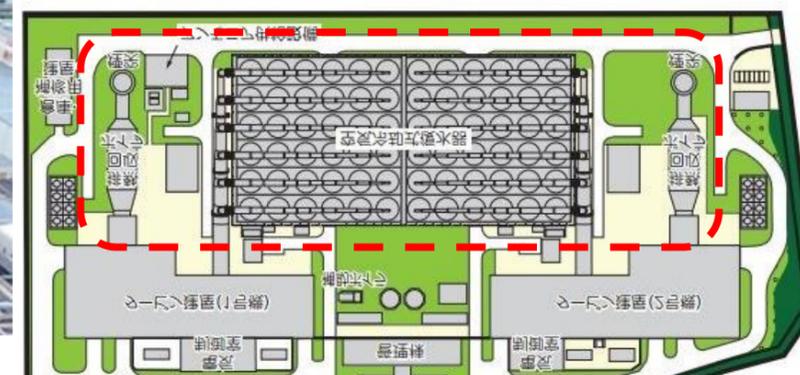
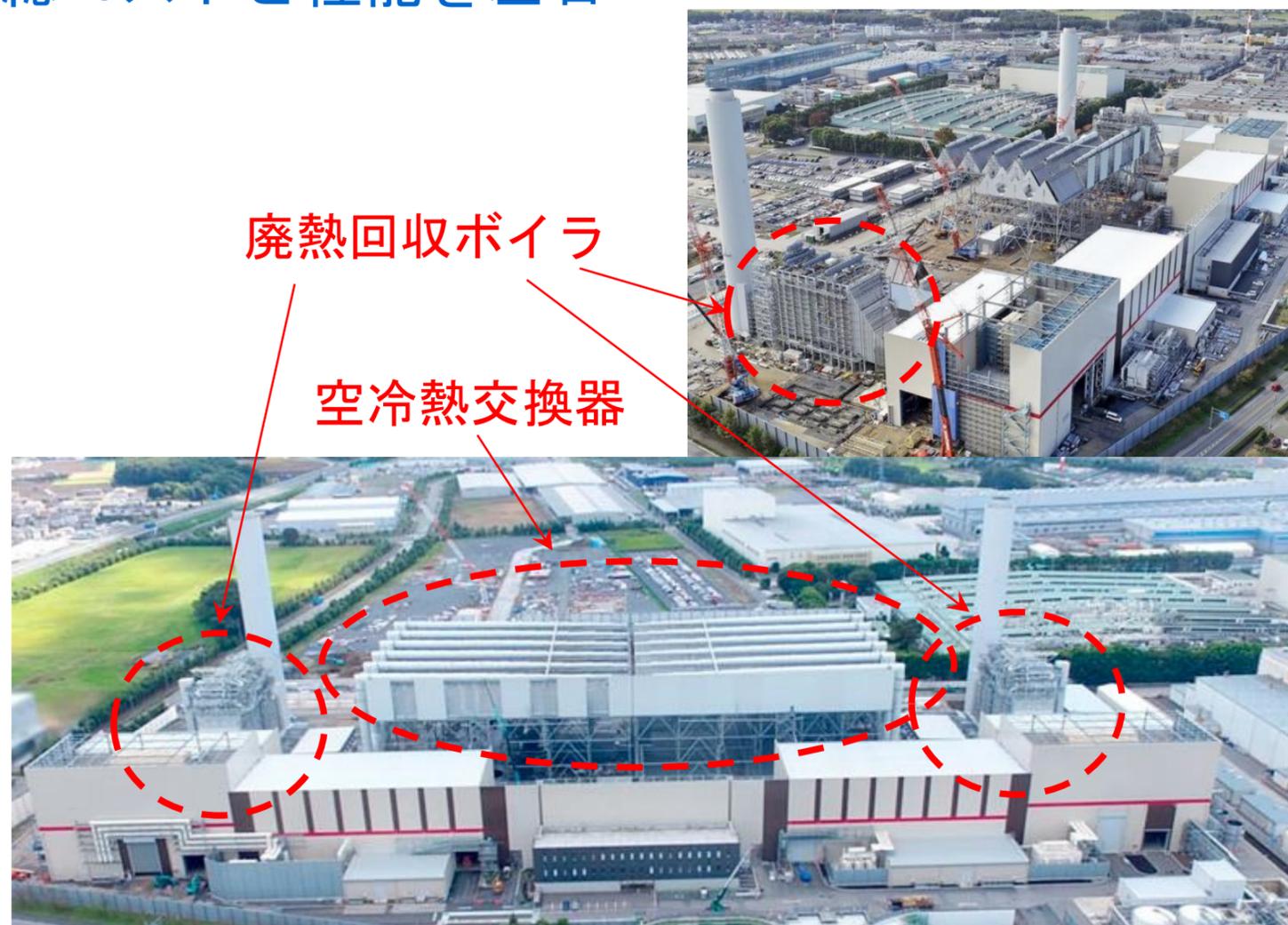
多・大

貯めやすく運びやすい化石燃料が使えなくなると

(線の幅に意味はありません)

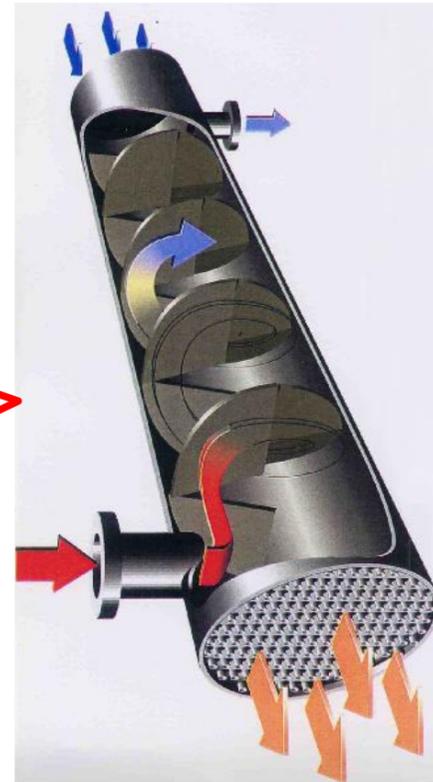


- 神鋼真岡発電所：LNGパイプラインを利用した
内陸型コンバインドサイクル 120万kW
- 大設置面積，大構造物
(熱交換器が敷地の約2/3)
- 総コストと性能を左右





- 温度 116°C
- 排熱量 50 MW



蒸発器

- 縦型シェル&チューブ×2基
- 41.9 MW
- 高さ 13.715 m
- シェル内径 1.490 m
- ヘリカル(らせん)バッフル

ガス給湯器



600 × 470 × 240 mm 27.5 kg

http://rinnai.jp/catalog_download/pdf/kyuto.pdf/

Rinnai RUF-A2400AW

- 最大給湯能力 ≒ 50 kW
- 重量 = 27.5 kg
- 実売価格 ≒ ¥100,000
- **価格/熱量 ≒ 2,000 ¥/kW**
- **温度差 ≒ 1,500 °C**
- **熱量/温度差 ≒ 30 W/°C**

ヒートポンプ給湯器



672 × 799 × 299 mm 55 kg

2170 × 600 × 680 mm 89 kg

<http://sumai.panasonic.jp/hp/online.html>

Panasonic HE-JPU46HXS (460L)

- 給湯能力 = 6 kW (約1/10)
- 重量 = 55 + 89 = 132 kg (5倍以上)
- 実売価格 ≒ ¥300,000 (約3倍)
- **価格/熱量 ≒ 80,000 ¥/kW (40倍)**
- **温度差 ≒ 10 °C (1/150)**
- **熱量/温度差 ≒ 600 W/°C (20倍)**

$$\text{熱交換器コスト} = \text{固定費} + \frac{\text{材料費}}{\text{伝熱面積}} \times \text{伝熱面積}$$

熱交換コストを削減するための3因子

① 固定費（減価償却費）削減

- 量産技術の転用

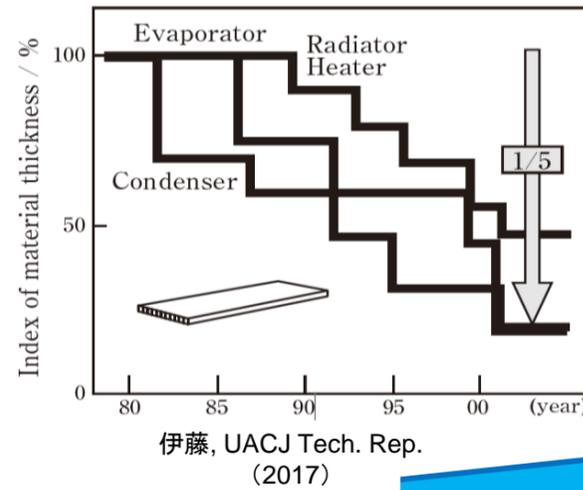
（習熟率90%なら生産量10倍でコスト約3割減）

② 安価な素材への転換

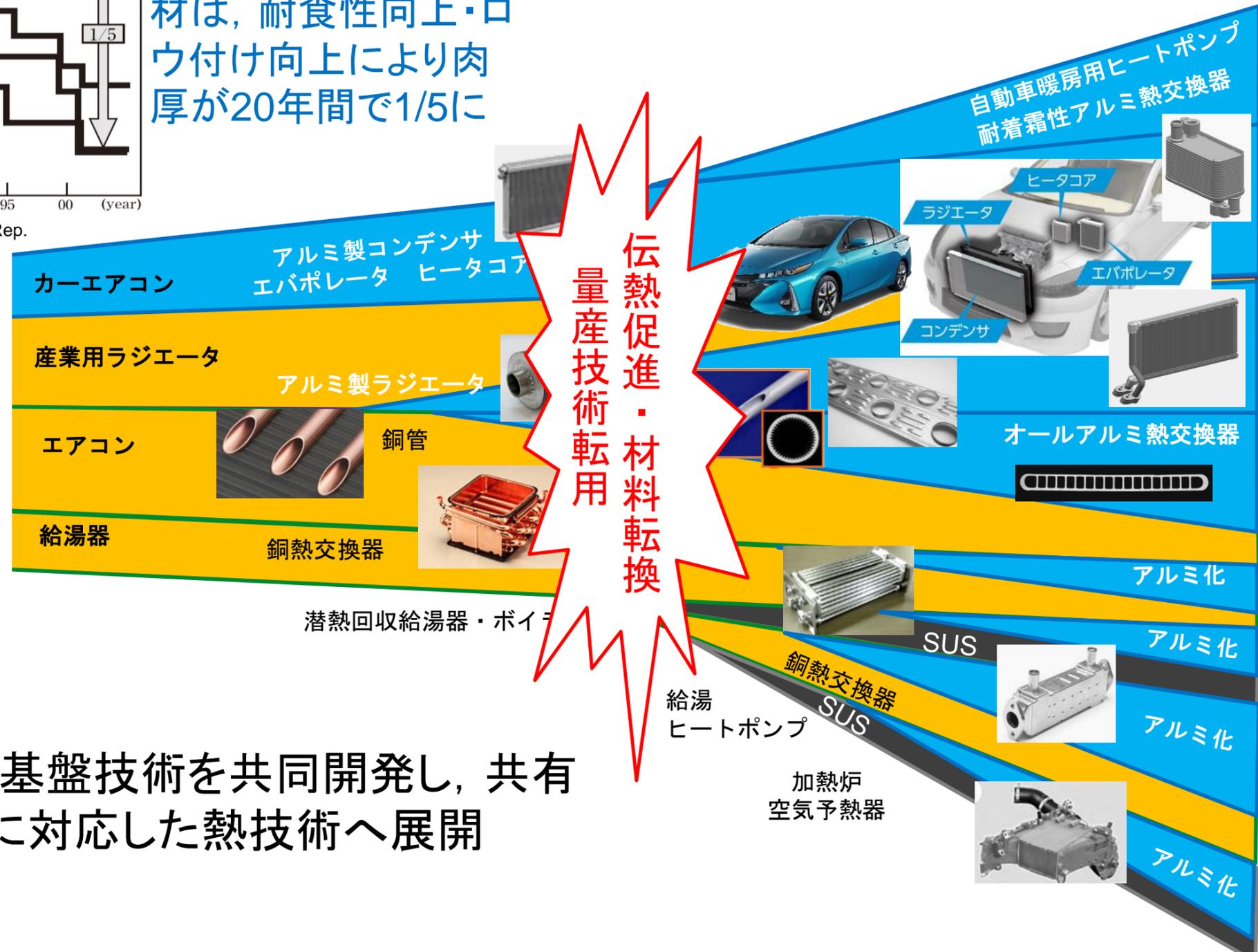
- 耐食性, 耐熱性, 強度向上

③ 伝熱促進

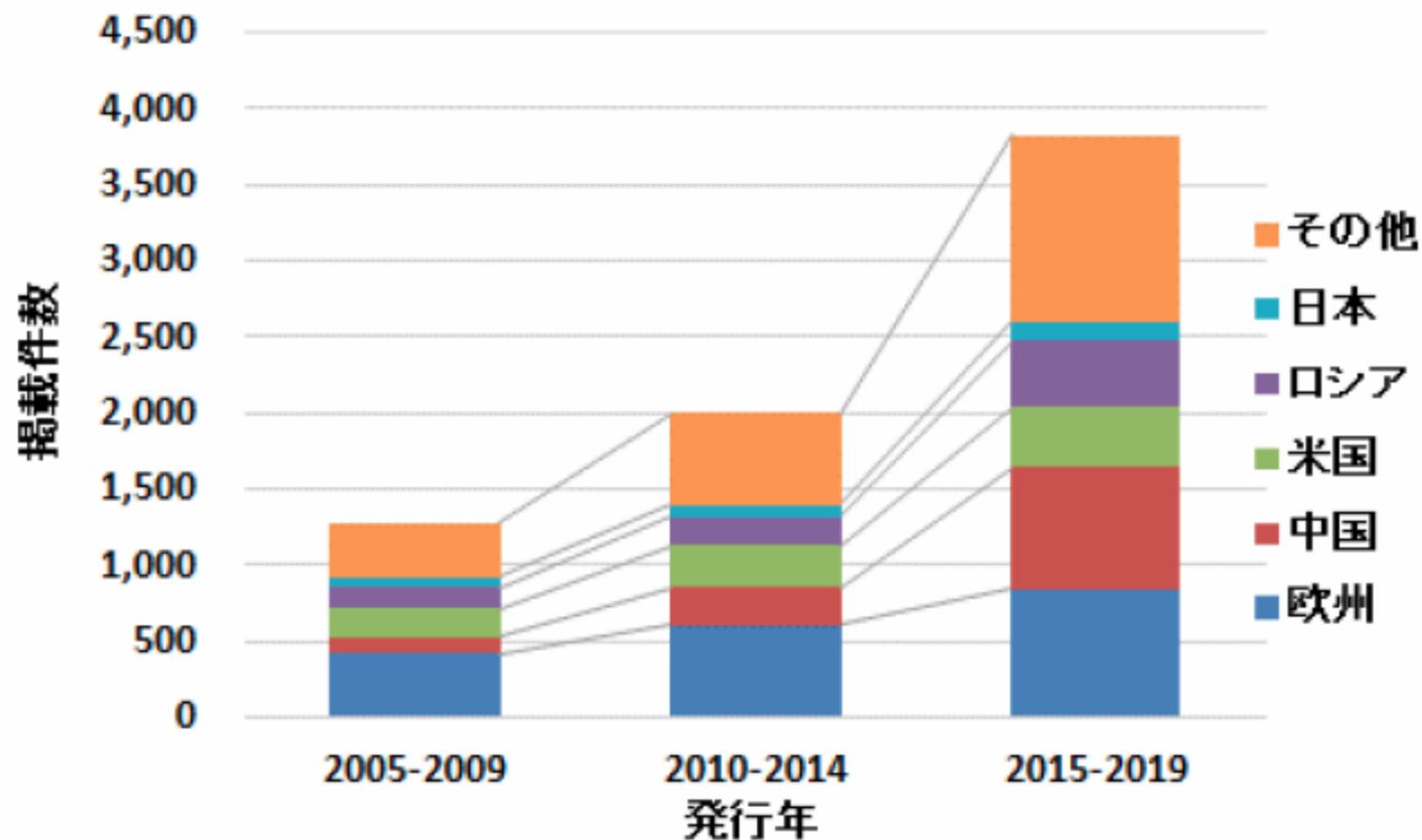
- 熱量 = 熱伝達率（ ↗ ） × 伝熱面積（ ↘ ）



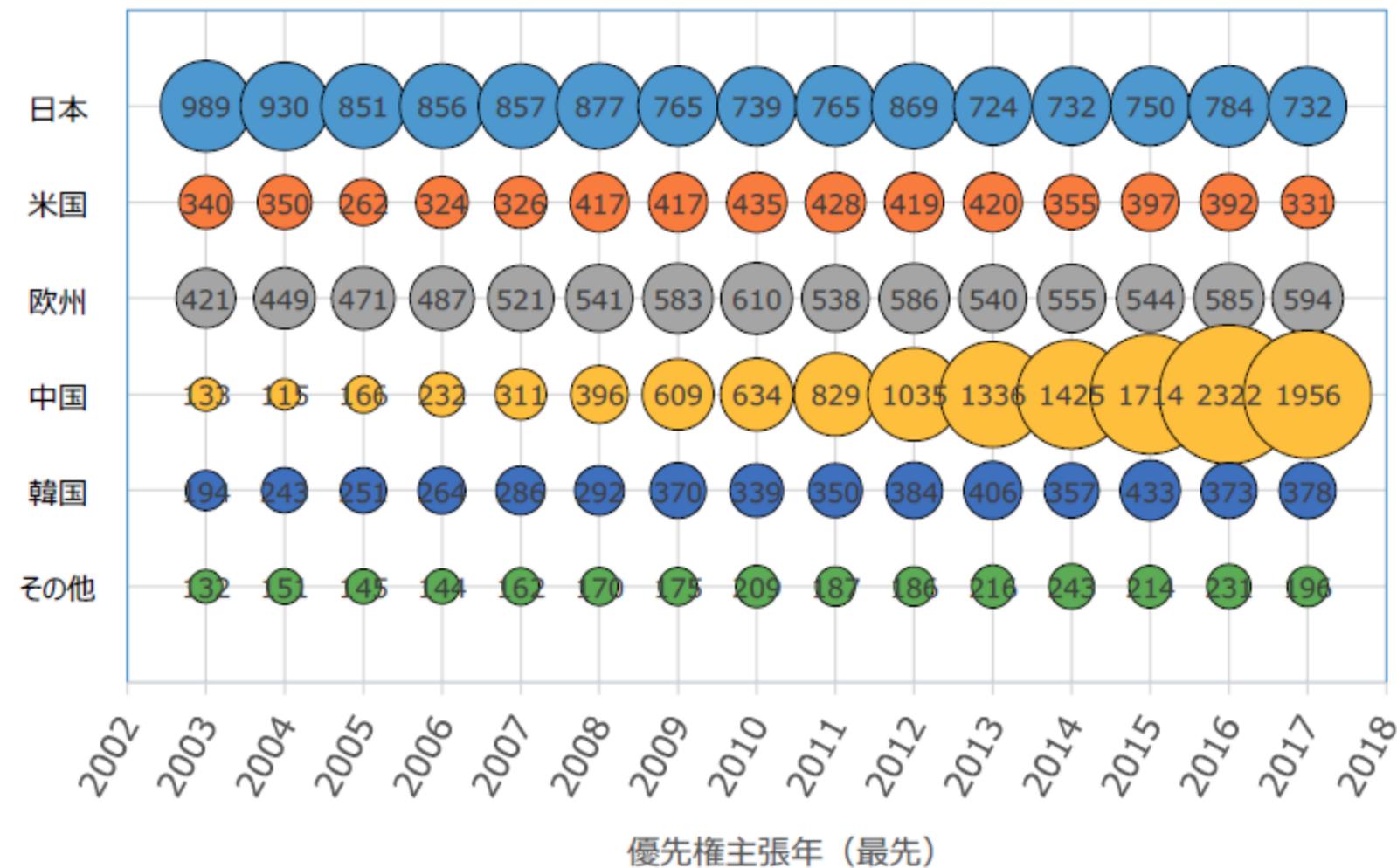
自動車用AIチューブ材は，耐食性向上・ロウ付け向上により肉厚が20年間で1/5に



- 最先端の共通基盤技術を共同開発し，共有
- 新たなニーズに対応した熱技術へ展開



熱交換技術に関する論文掲載数の推移 (5年ごと)

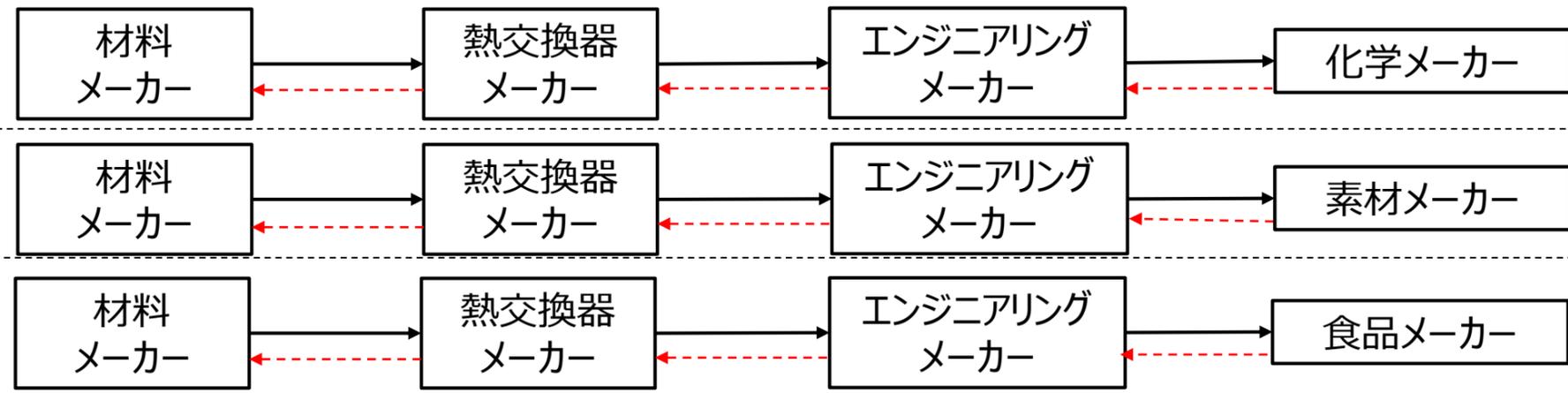


熱交換技術の特許出願件数の推移

業界の課題

- 異業種間の横の交流もなく、業界ごとに独自の進化を遂げており、**技術情報を共有化しにくい**
- メーカとユーザ間の情報共有が少ないため安全率が大きく、**技術が保守的になりがち**

(従来) 業界ごとのやりとり。技術は小規模かつ独自に進化



→ 製品・役務等の流れ
 ← 情報(仕様,条件等)の流れ



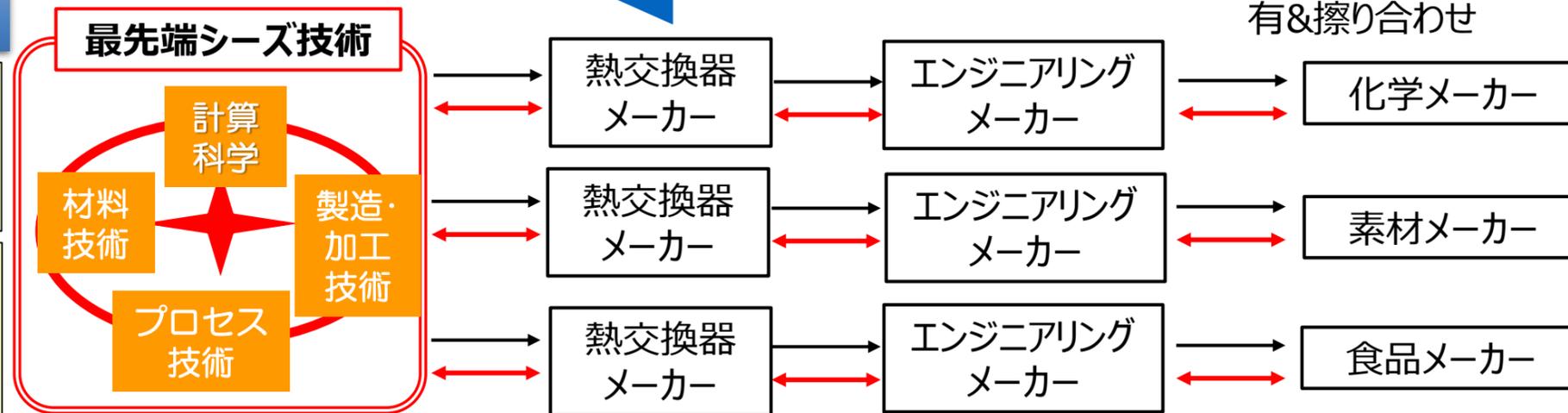
新概念サンプルによる機能検証

理想の姿

業種を跨いで先端シーズ技術を共同開発&共有

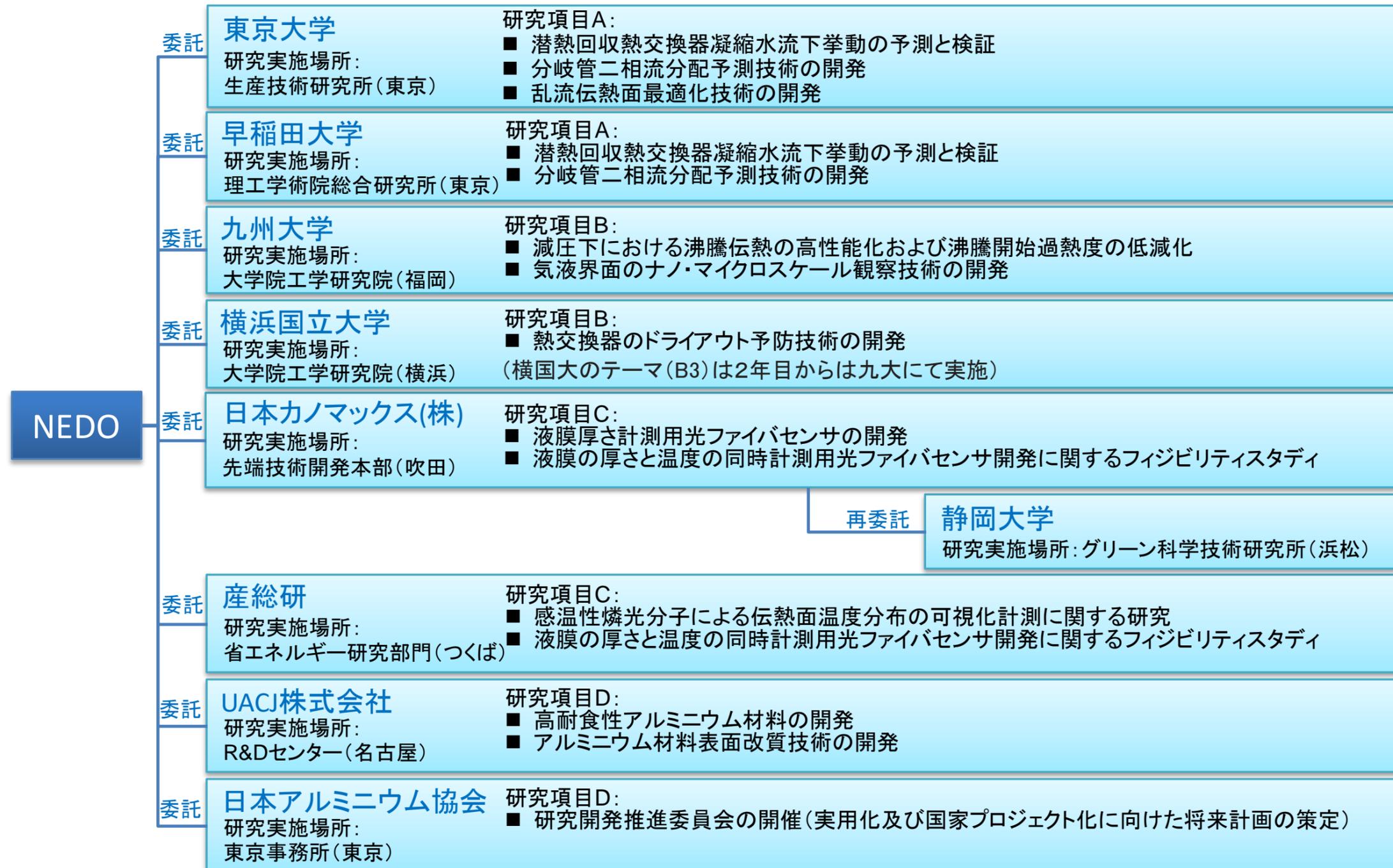
各業界でもシーズからニーズまで情報共有

(理想の姿)



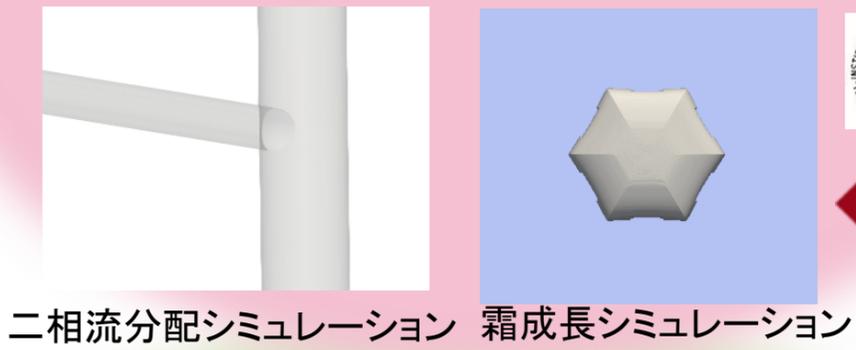
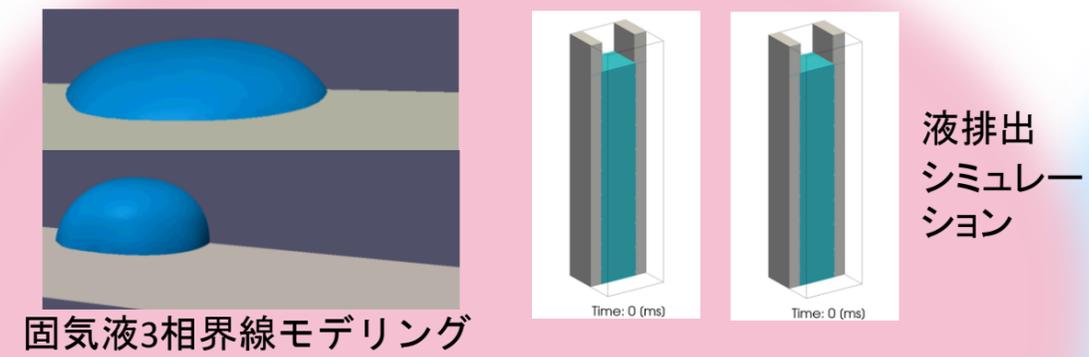
↔ 情報(ニーズとシーズ)の共有&擦り合わせ

「エクセルギー損失の削減に向けた熱交換技術開発」 実施体制図

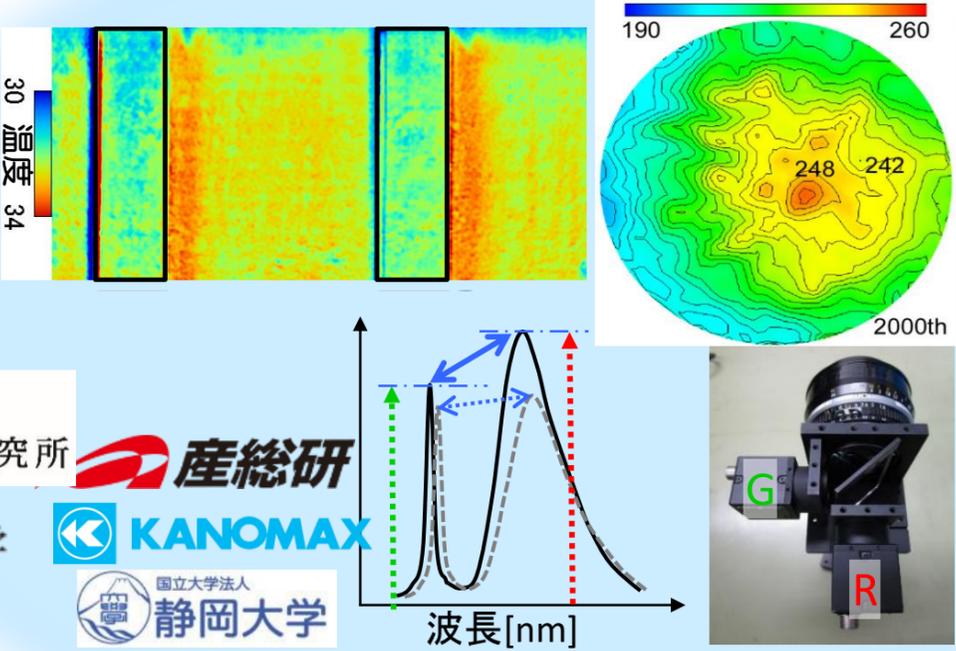


研究開発推進委員会
 外部評価委員: 神鋼リサーチ, 高砂熱学工業, デンソー, 東京ガス, 科学技術振興機構(JST)
 オブザーバ: NEDO, 経済産業省・資エネ庁, 日阪製作所, 神戸製鋼, ダイクレ, 金属系材料研究開発センター(JRCM), 新化学技術推進協会(JACI), 産業技術総合研究所, 三菱総合研究所, みずほ情報総研, 日本伝熱学会

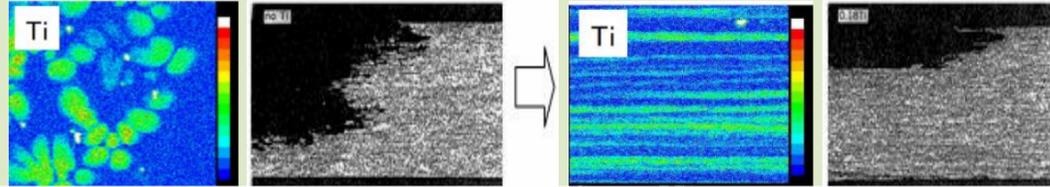
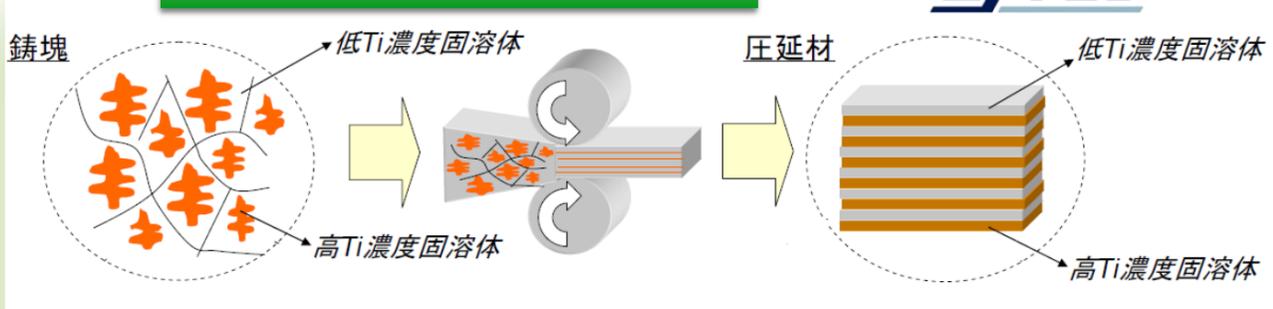
数値シミュレーション技術



計測技術



材料技術



表面（濡れ性）制御

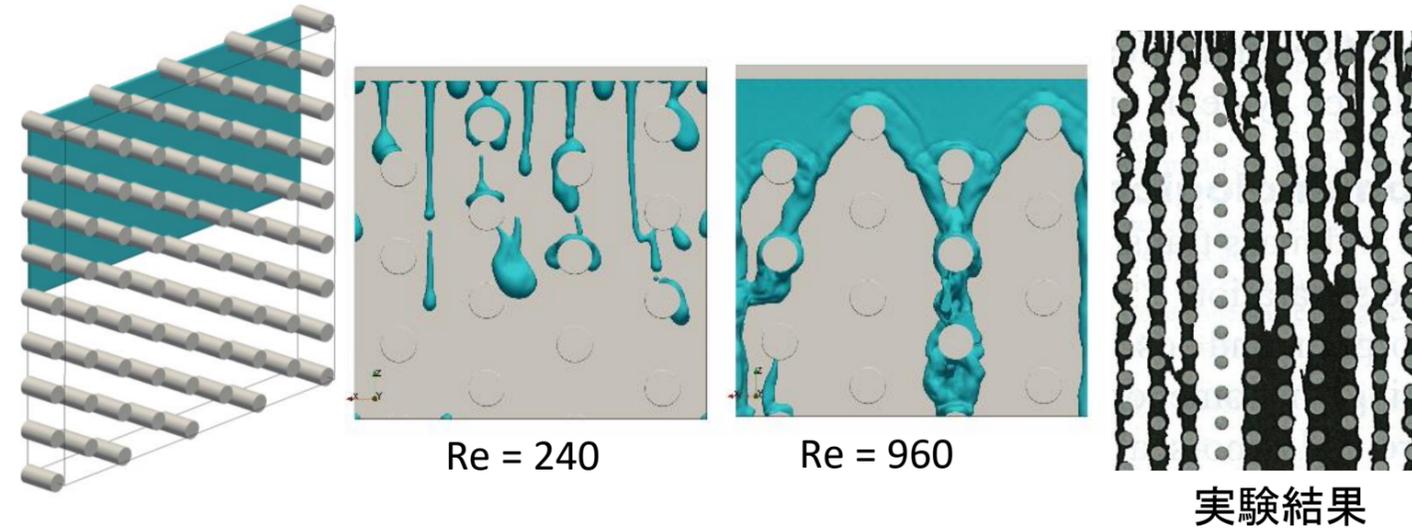


■ 潜熱回収熱交換器凝縮水流 下挙動の予測と検証

三相 (固-気-液) 界線接触角モデルの
精度向上



流下液膜乾き面積を精度±20%で予測



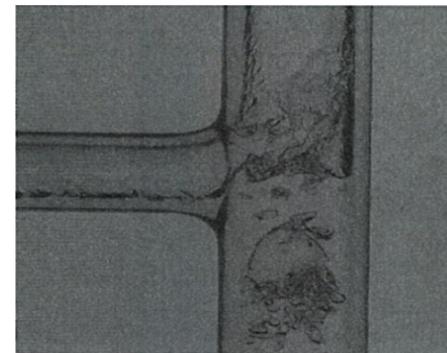
実験結果

■ 分岐管二相流分配予測技術の開発

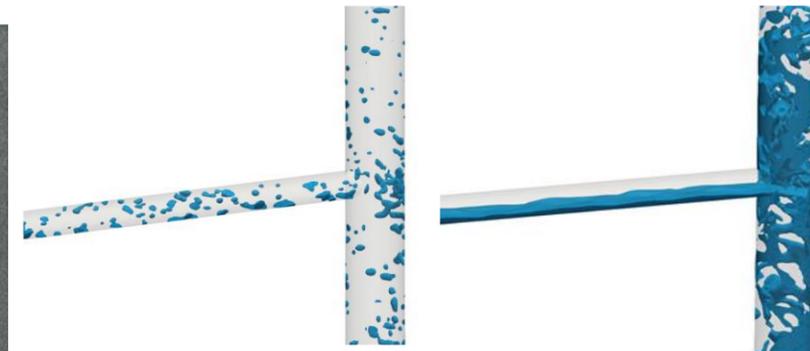
格子解像度, 物性値, 管壁表面性状の影響等
を評価



10億規模グリッドを用いた超大規模シミュレーション
(HPC) により, フロン系冷媒T字分岐管の気
液二相流分配を精度±20%で予測



T字分岐管実験



入口条件の異なる二相流の分岐予測例

■ 乱流伝熱面最適化技術の開発

随伴解析を用いた,
高伝熱・低圧力損失を達成する
乱流伝熱面の超多自由度最適設計



産業用途で重要となる乱流伝熱面の最適
化 (Re=5000で熱伝達率50%増加)



V字凹凸フィン
(高防汚性,
高熱伝達率)



乱流V字凹凸伝熱面の最適化の例

■ 減圧下における沸騰伝熱の高性能化および沸騰開始過熱度の低減化

親水・撥水領域形状の最適条件解明し、水に対しては、減圧下において、伝熱面過熱度7K以下で沸騰開始をする伝熱面条件の抽出。間欠沸騰発生条件の解明。エタノールについては、沸騰開始過熱度10K以下となる伝熱面条件を抽出



アルミニウム製高性能伝熱面の開発 (項目Dと連携)

■ 気液界面のナノ・マイクロスケール観察技術の開発

各種濡れ性の固体表面近傍におけるナノ気泡や液滴平衡状態および動的挙動を把握するナノ観察技術を開発



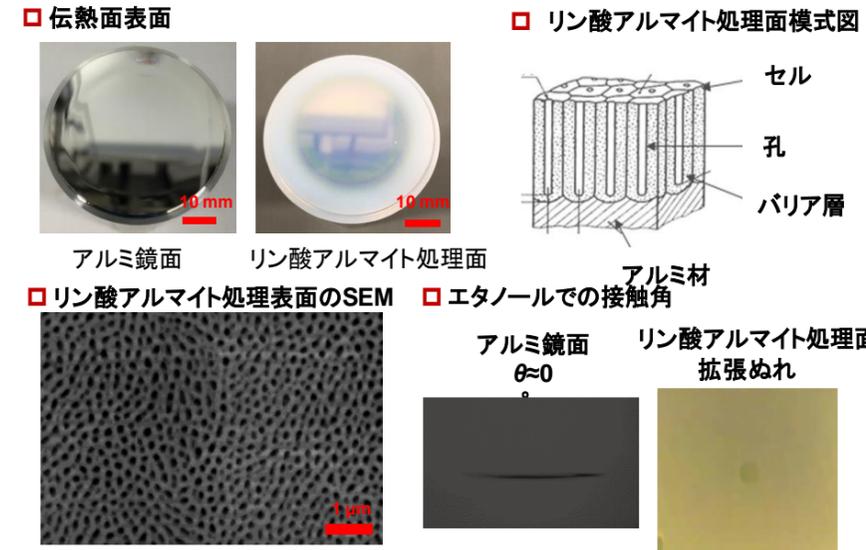
ナノ・マイクロスケールにおける気液界面と表面濡れ性との相互作用の物理機構を解明。沸騰開始過熱度低減策の提案

■ 熱交換器のドライアウト予防技術の開発

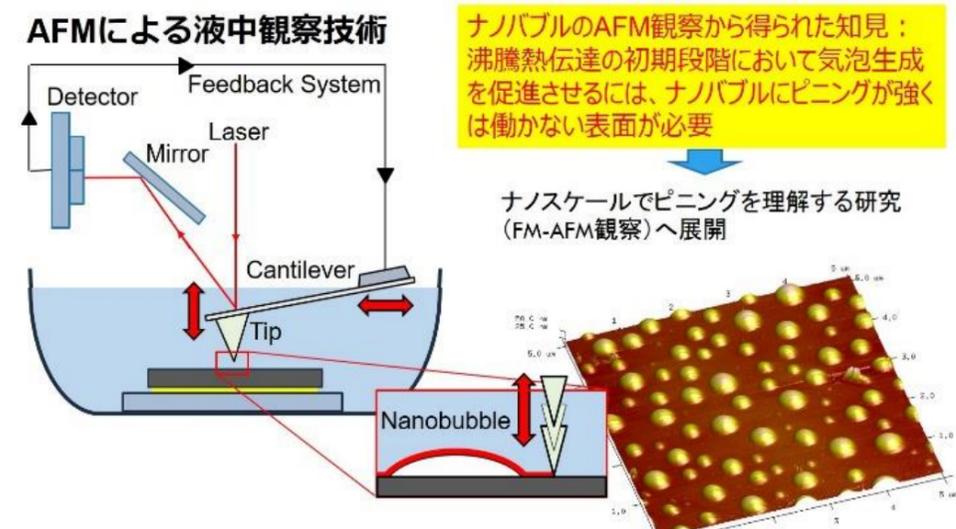
ナノ流体とハニカム多孔質体によるドライアウト抑制メカニズムの解明



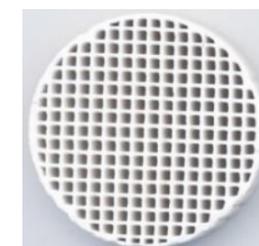
ドライアウト予防技術の提案



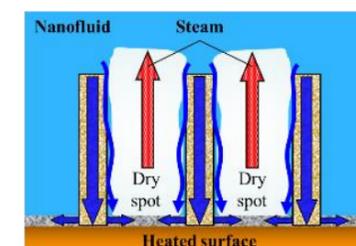
リン酸アルマイト処理伝熱面の試作・評価 (項目Dと連携)



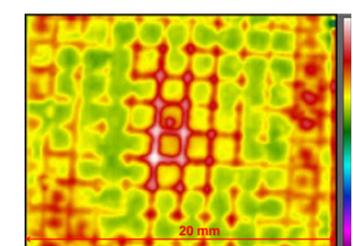
固体表面近傍における気泡観察



ハニカム多孔体



液相 (青) と気相 (赤) の流れ



赤外カメラによる観察

■ 液膜厚さ計測用光ファイバセンサの開発

- フル3次元光線追跡シミュレーション確立
- 薄い液膜(10~200 μm)の高精度計測を実証
- 商用化に向けた課題解決(耐熱・耐圧性能の向上, 検査手法構築)

液膜厚さ計測用光ファイバセンサの予備性能評価・設計手法開発

■ 感温性燐光分子による伝熱面温度分布の可視化計測に関する研究

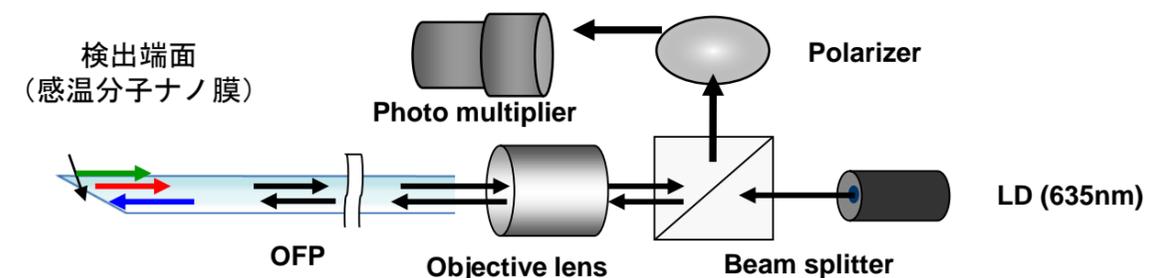
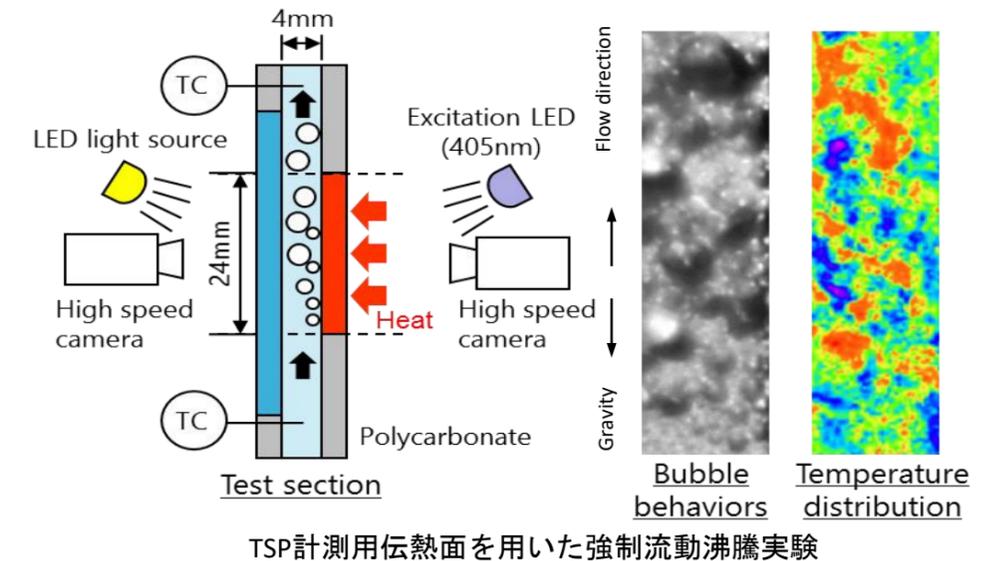
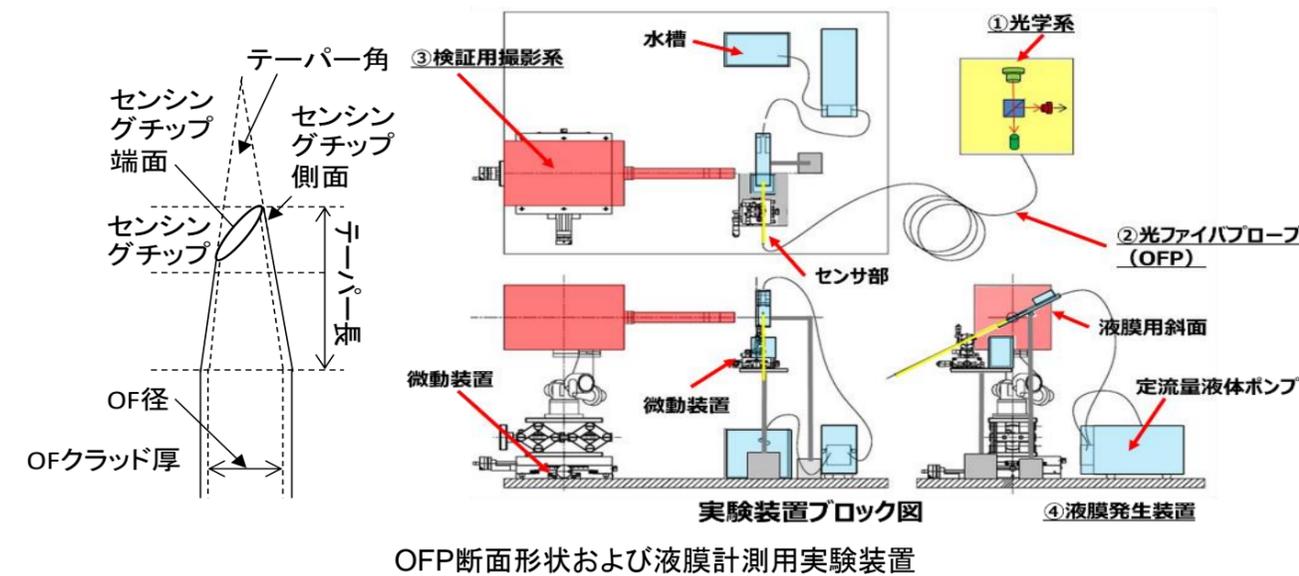
- センサ塗膜の安定性向上・温度校正手法の確立による局所熱伝達率分布の評価
- 冷媒適応性・高温適用性の拡大のために, 無機TSPセンサによる計測手法を検証

高い時空間分解能での高精度定量計測法確立(目標: 時間分解能1kHz)
⇒ 沸騰熱伝達向上効果の検証(項目B, Dと連携)

■ 液膜の厚さと温度の同時計測用光ファイバセンサ開発に関するフィジビリティスタディ

- 異なる波長帯の発光強度を相対的評価により, 光経路での減衰因子を排除した定量計測

リアルタイムモニタリングによるドライアウト防止, 各種フィードバック制御



■ 高耐食性アルミニウム材料の開発 (目標: 水・ガス側ともに10年以上の寿命達成)

- ・初年度の水側に加えてガス側での耐食性を評価
- ・実用化を想定した構成, 板厚のラボ材を試作し, 耐食性を実証
- ・試作ラボ材での成形加工性を確認



給湯器用アルミ材量産技術の10年耐久目処

■ アルミニウム表面改質技術の開発 (目標: 撥水パターン銅面以上の沸騰伝熱特性)

- ・エタノールに加えて水での沸騰伝熱評価用材料供試
- ・KO+撥水パターン用材料供試
- ・アルミ陽極酸化多孔質体の効果確認と最適形態化
- ・撥水処理および陽極酸化被膜構造の耐久性確認



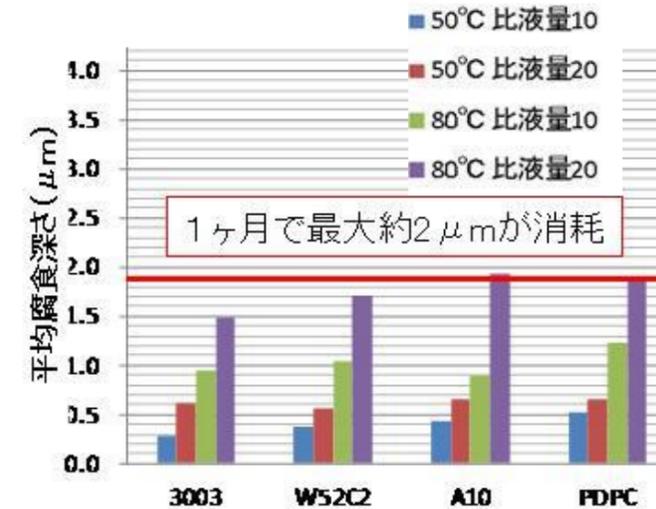
沸騰伝熱促進アルミ表面処理技術の目途(項目Bと連携)

■ 実用化及び国家PJ化に向けた将来計画の策定

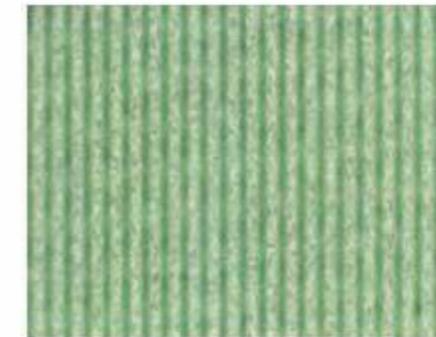
- ・表面処理技術調査結果に基づき国家PJ時に取組む技術を提言す
- ・研究開発推進委員会を継続開催し, 狙うべき熱交分野を明確化



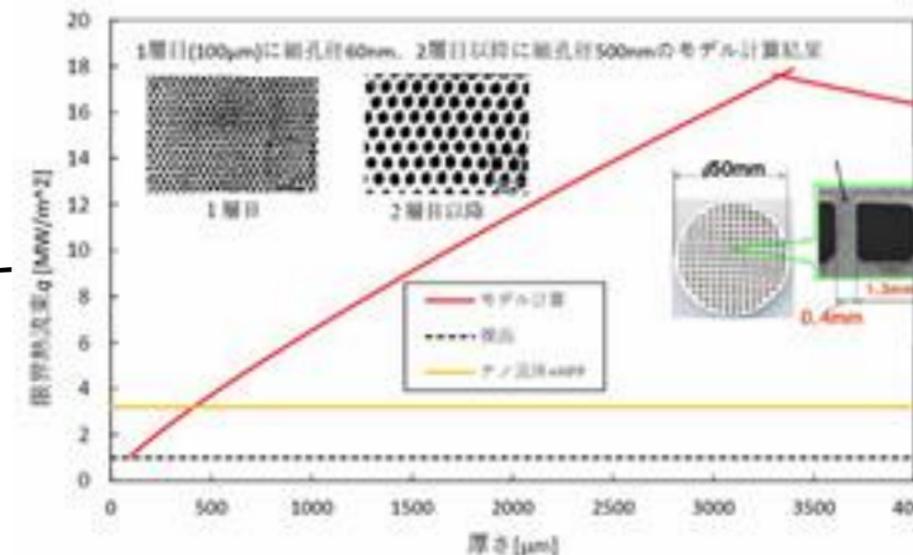
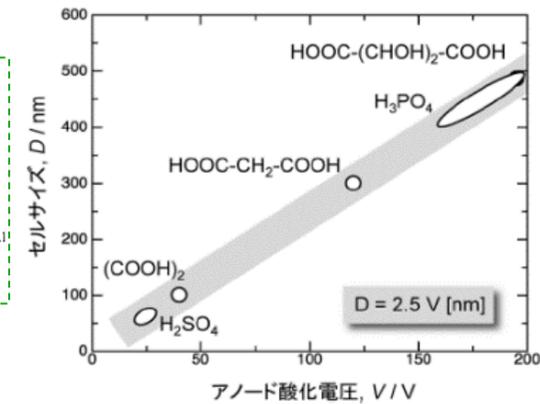
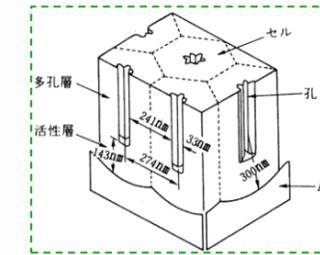
国家PJにおいて取り組む実用化技術, ターゲットの提案



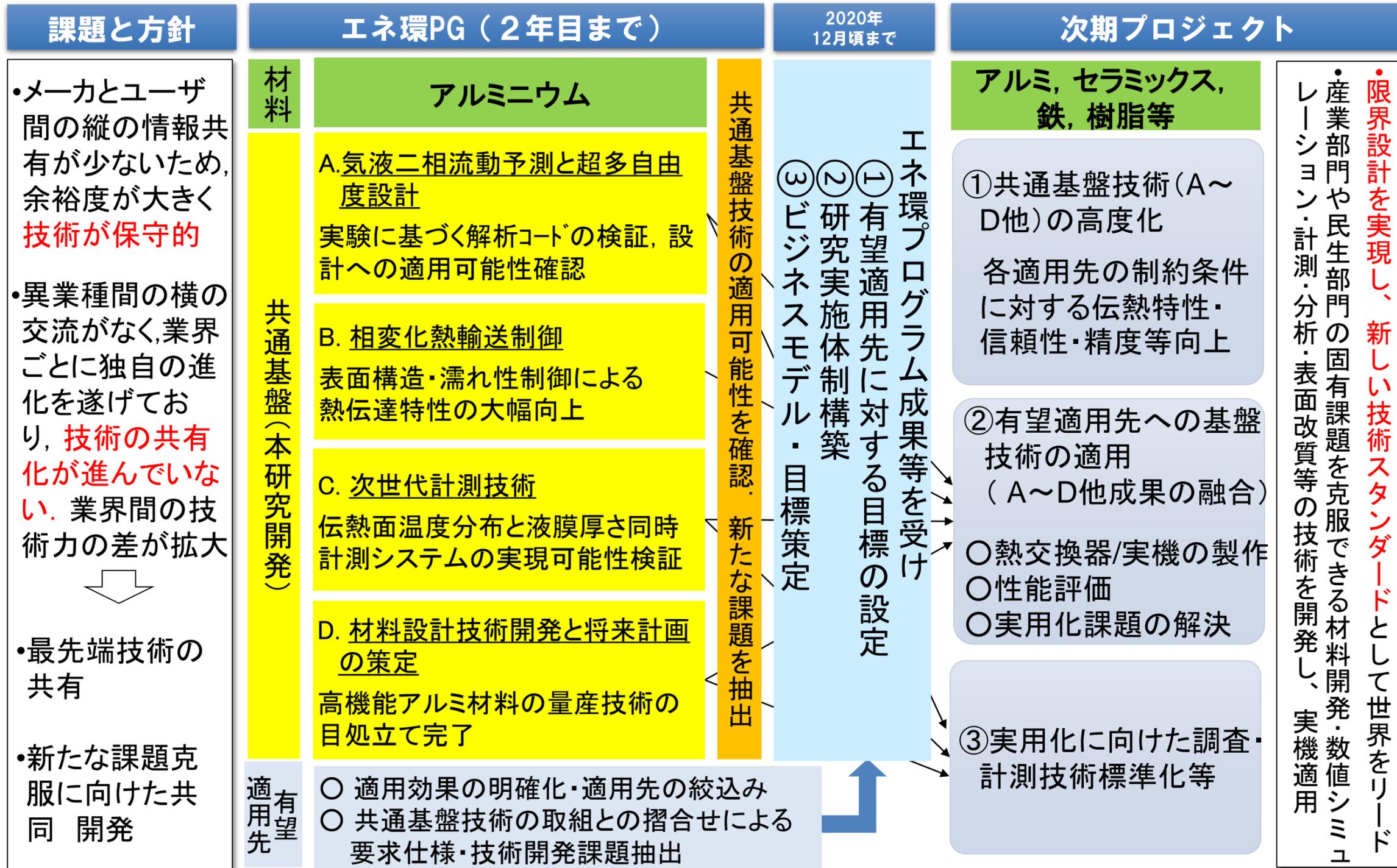
水道水中腐食量より推定した平均腐食深さ 給湯用オールアルミ潜熱回収熱交換器



KO処理面上の撥水性塗装例



多孔質体の厚さの効果
無断転載転用禁止



- 第一ステップとしてアルミで挑戦し適用可能性を検証・確認
- 次期ステップとして新材料(セラミックス, 樹脂, 鉄等), 有望適用先に技術を展開

■ 熱交換は新しい熱機器導入のための「要」

- ⇒ 変動型再生可能エネルギー導入拡大をきっかけに、熱技術体系も大きく変わる可能性
- ⇒ 現状の熱交換技術はシステムの大型化・高コスト化を招き、導入普及の際のボトルネックに
- ⇒ 解決の鍵は「量産技術」×「材料転換」×「伝熱促進」

■ 熱分野は、業界ごとに縦割りで、ユーザーとメーカーの間も分断

- ⇒ 電池等の分野で新しいシミュレーション・計測・材料技術・AI技術等が育ってきており、従来出来なかったことが可能に！
- ⇒ 横断的取組みを始めるチャンス

■ 最先端共通基盤技術（材料，数値シミュレーション，計測，表面）を共同開発し，共有

- ⇒ アルミで先行．将来的にセラミックス等の各種素材まで広げ，素材メーカー，機器メーカー，ユーザーを含むコンソーシアム化を目指したい