

エネルギー・環境新技術先導研究プログラム

# オールアルミニウム製ガス給湯器用 二次熱交換器の開発

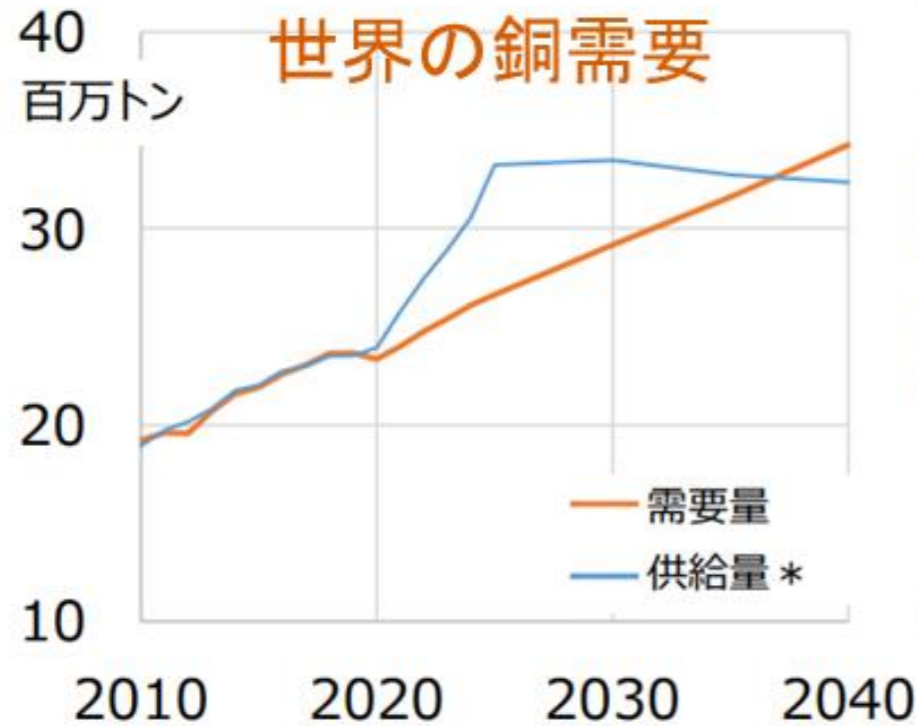
プロジェクト実施者： 国立大学法人東京大学、学校法人早稲田大学、  
国立大学法人九州大学、国立大学法人横浜国立大学(2018年度)、  
日本カノマックス（株）、（国研）産業技術総合研究所、  
（株）UACJ、（一社）日本アルミニウム協会

プロジェクト実施期間： 2018年5月～2020年5月



## 社会ニーズの強まり

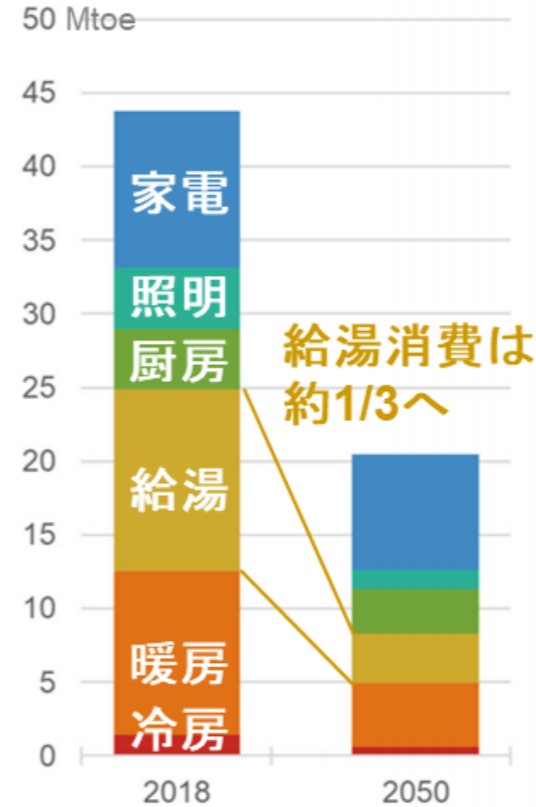
- 給湯エネルギー消費の大幅削減(1/3以下)が求められる
  - 高効率給湯器には耐食性から銅やSUS熱交換器(高価)が用いられ、普及を阻害
- カーボンニュートラルに向けて銅需要は今後大きく増加
  - ⇒ 信頼性さえ上がればアルミ転換が加速
  - リサイクルによるCO<sub>2</sub>排出減, 安価, 高熱伝導率, 軽量, 量産性, 表面改質...



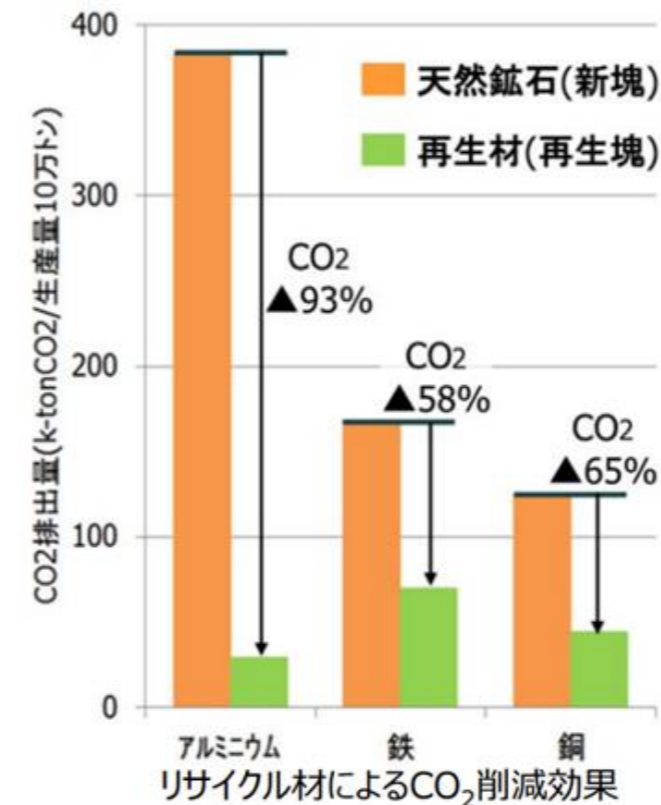
[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen\\_nenryo/kogyo/pdf/007\\_03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen_nenryo/kogyo/pdf/007_03_00.pdf)



IEA, The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, 2021



国立環境研究所, 2050年脱炭素社会実現に向けたシナリオに関する一分析(2021)



ガス給湯器用主熱交換器(銅)



<https://www.suzukitekko.com/business/heat.html>

二次熱交換器(SUS)



[https://www.osakagas.co.jp/company/efforts/rd/topic/1191041\\_45128.html](https://www.osakagas.co.jp/company/efforts/rd/topic/1191041_45128.html)

[https://www.meti.go.jp/policy/nonferrous\\_metal/strategy2016/summary.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/nonferrous_metal/strategy2016/summary.pdf)



給湯や潜熱回収用途にアルミ熱交換の実績はあるが、従来技術では決定的な優位性示せず

ガス風呂釜(60年代~)

コンデンシングボイラー(欧州)

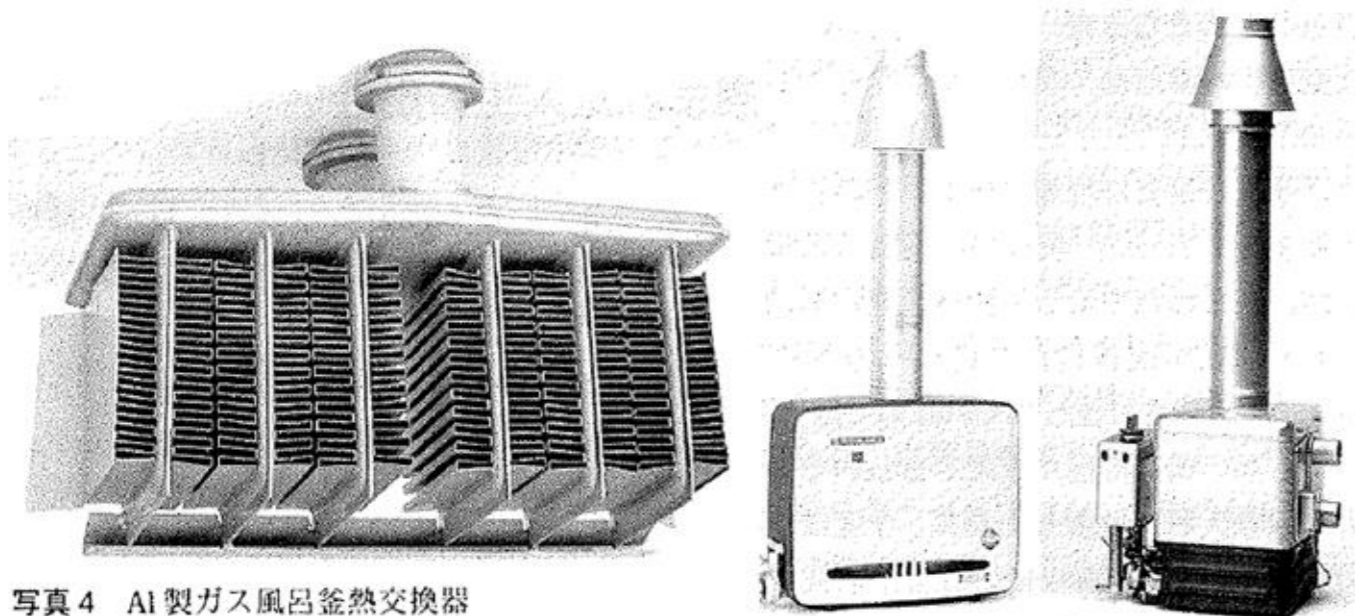


写真4 AI製ガス風呂釜熱交換器

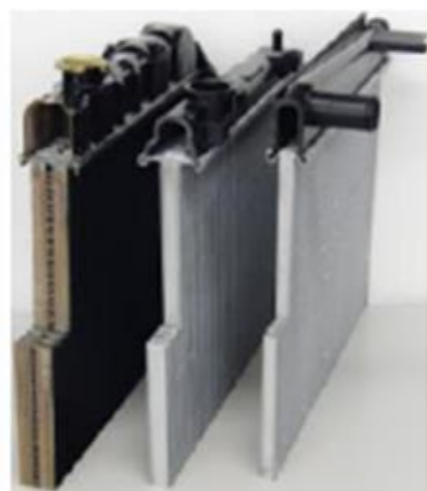
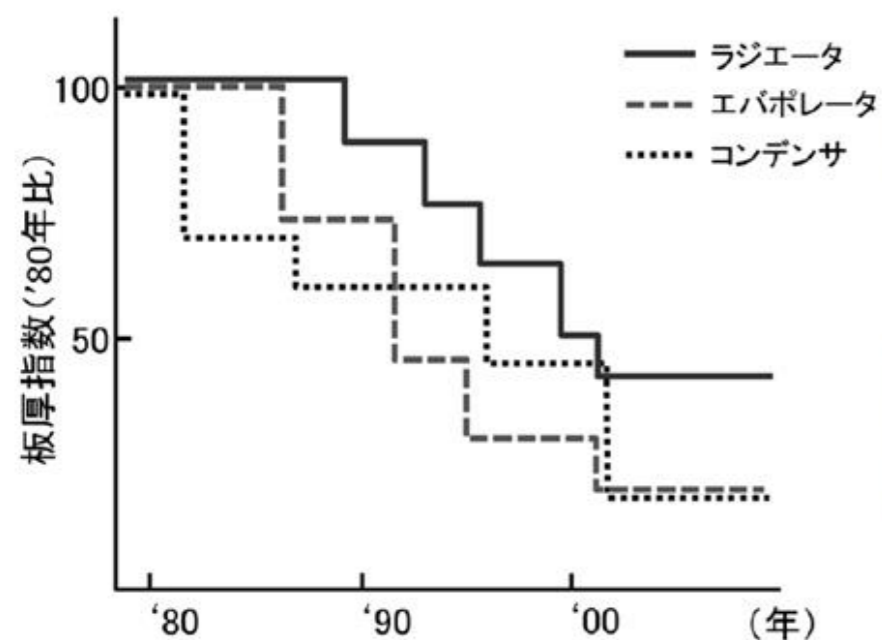
浅野, 金属, 77, pp. 915-919 (2007).



BEKAERT社カタログより

先端技術を集約して給湯器用熱交換器のアルミニウム化に挑戦

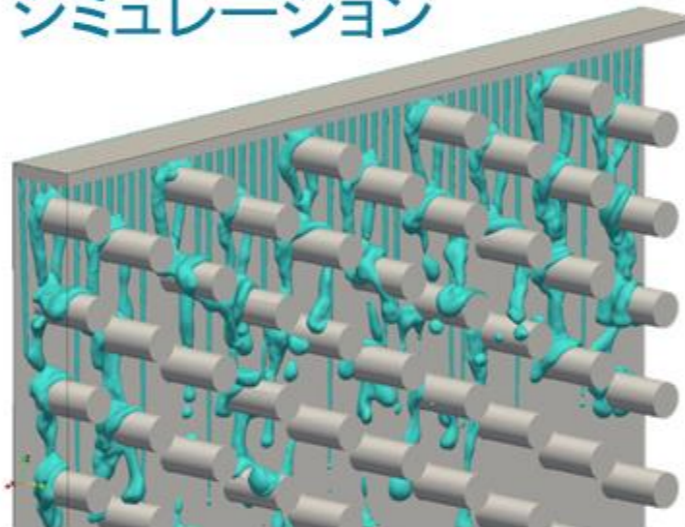
## 材料技術 & 製造技術の進展



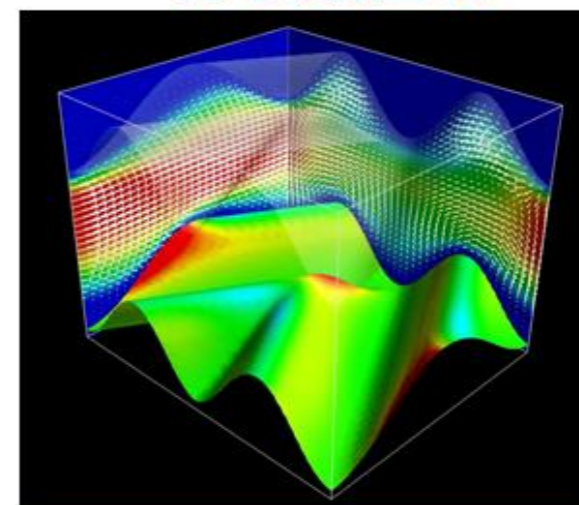
外山, 軽金属 68 (3), pp. 166-171 (2018).

## 設計技術の進展

10億格子以上の二相流シミュレーション



超多自由度形状最適化



ガス給湯器の潜熱回収用二次熱交換器について現行のSUS製からアルミニウム製への代替を狙う



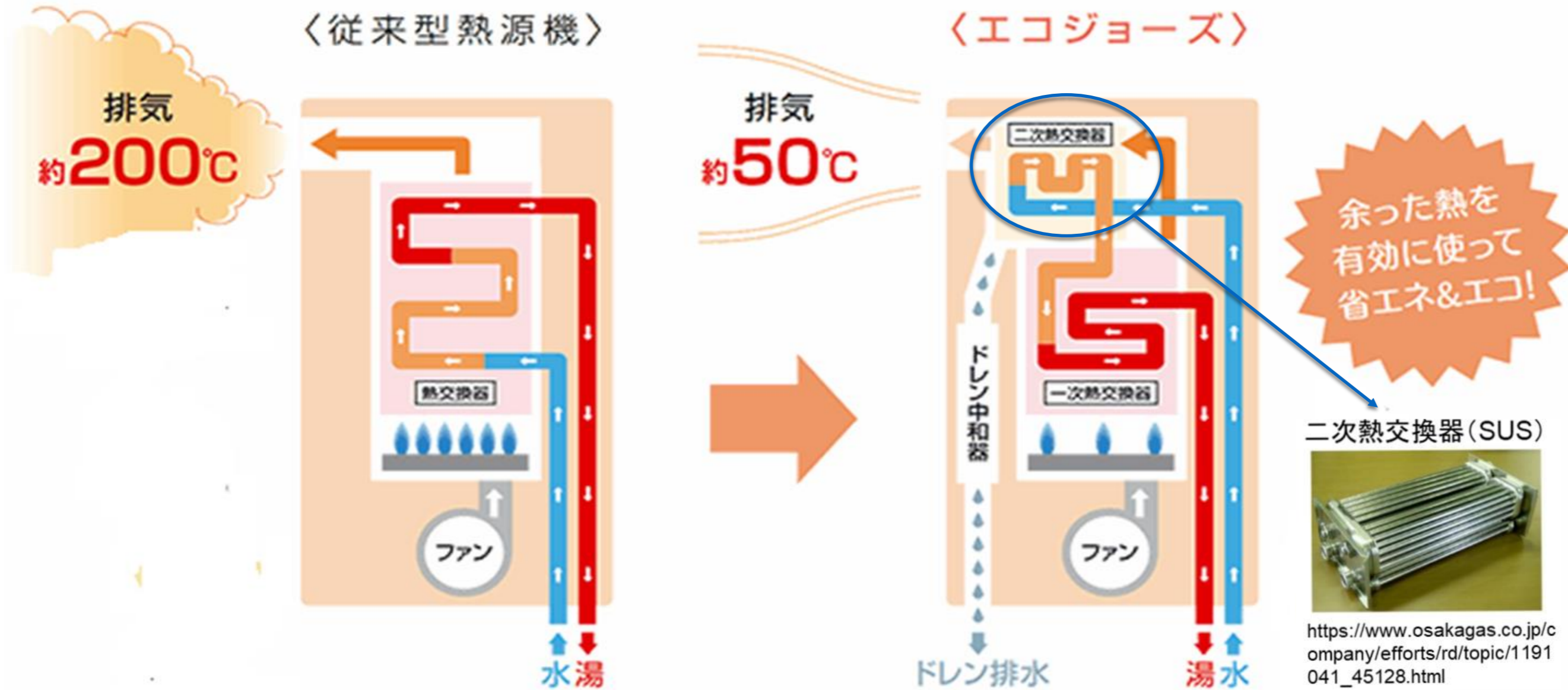
## 2-1.研究開発体制

委託	<b>東京大学</b> 研究実施場所: 生産技術研究所(東京)	研究項目A: ■ <u>潜熱回収熱交換器凝縮水流下挙動の予測と検証</u> ■ <u>分岐管二相流分配予測技術の開発</u> ■ 乱流伝熱面最適化技術の開発
委託	<b>早稲田大学</b> 研究実施場所: 理工学術院総合研究所(東京)	研究項目A: ■ 潜熱回収熱交換器凝縮水流下挙動の予測と検証 ■ 分岐管二相流分配予測技術の開発
委託	<b>九州大学</b> 研究実施場所: 大学院工学研究院(福岡)	研究項目B: ■ 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 ■ 気液界面のナノ・マイクロスケール観察技術の開発
委託	<b>横浜国立大学</b> 研究実施場所: 大学院工学研究院(横浜)	研究項目B: ■ 熱交換器のドライアウト予防技術の開発 (横国大のテーマ(B3)は2年目からは九大にて実施)
委託	<b>日本カノマックス(株)</b> 研究実施場所: 先端技術開発本部(吹田)	研究項目C: ■ 液膜厚さ計測用光ファイバセンサの開発 ■ 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
		再委託
		<b>静岡大学</b> 研究実施場所: グリーン科学技術研究所(浜松)
委託	<b>産総研</b> 研究実施場所: 省エネルギー研究部門(つくば)	研究項目C: ■ 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 ■ 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
委託	<b>株式会社UACJ</b> 研究実施場所: R&Dセンター(名古屋)	研究項目D: ■ <u>高耐食性アルミニウム材料の開発</u> ■ アルミニウム材料表面改質技術の開発
委託	<b>日本アルミニウム協会</b> 研究実施場所: 東京事務所(東京)	研究項目D: ■ 研究開発推進委員会の開催(実用化及び国家プロジェクト化に向けた将来計画の策定)

NEDO

東京大学と(株)UACJが開発を担当

### アルミニウム化の課題



<https://rinnai.jp/products/waterheater/gas/what/eco/>

SUS製二次熱交換器 ⇒ アルミ製へ

耐食性が課題; (1) 内部: 高温水道水環境 (Cl<sup>-</sup>、溶存酸素多)

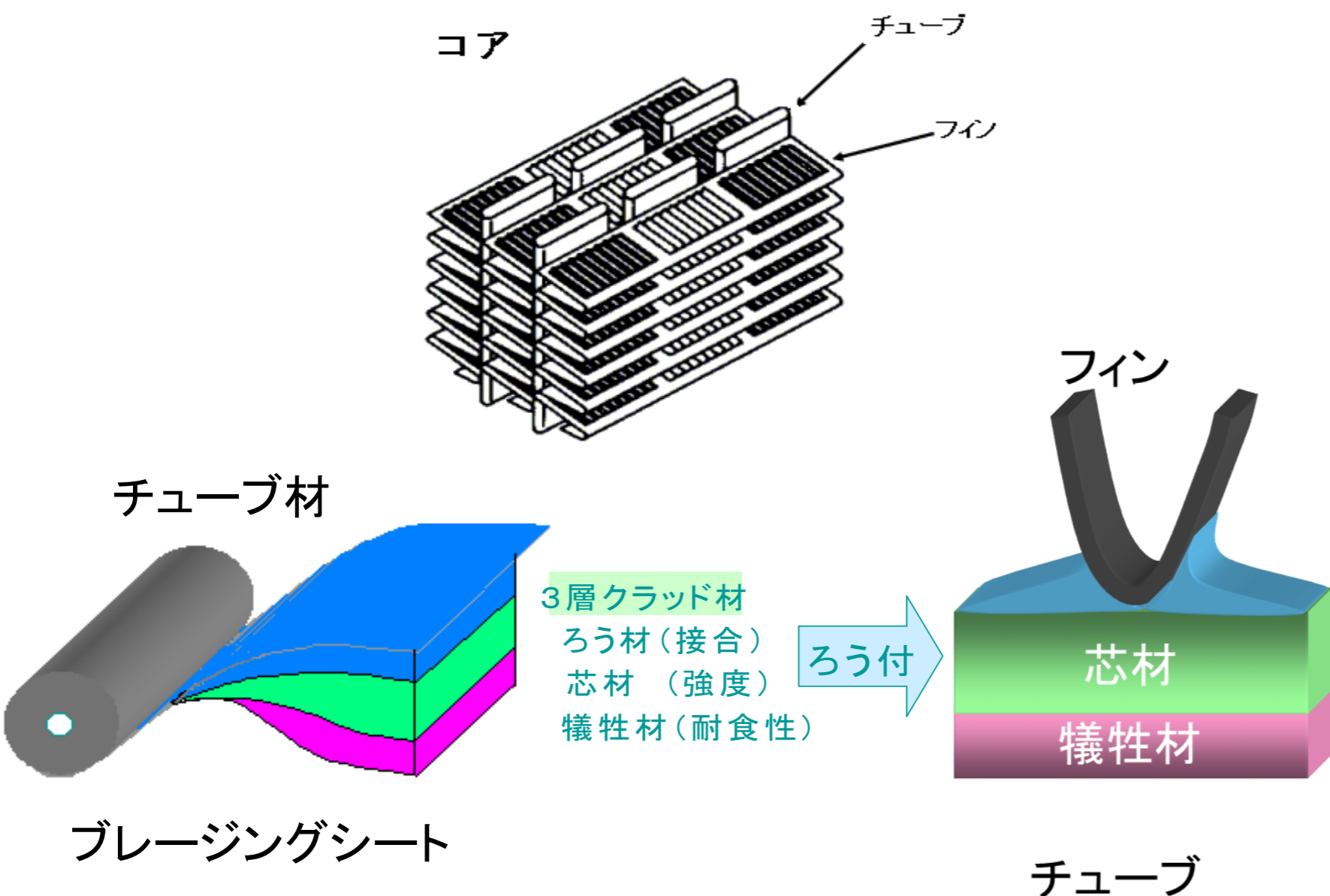
(2) 外部: 都市ガス等燃焼排気、凝縮水環境 (低pH)



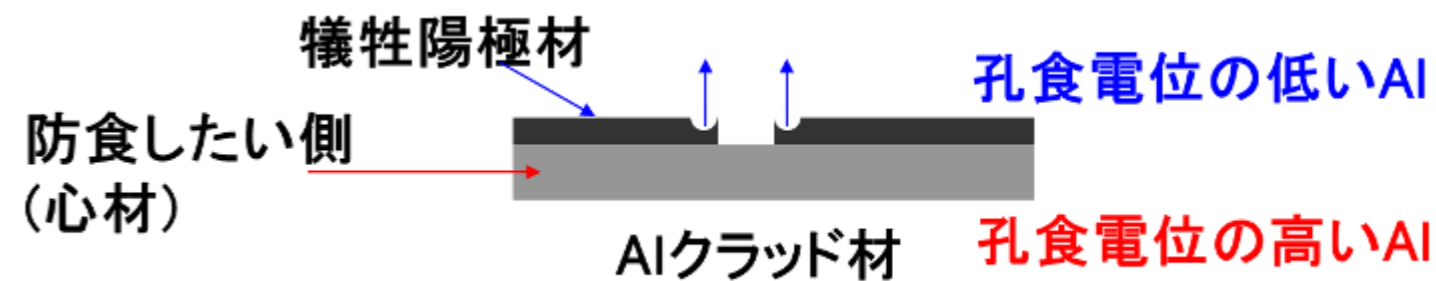
### 自動車用熱交換器の技術

#### <熱交換器コアの製造法 ⇒ろう付け法>

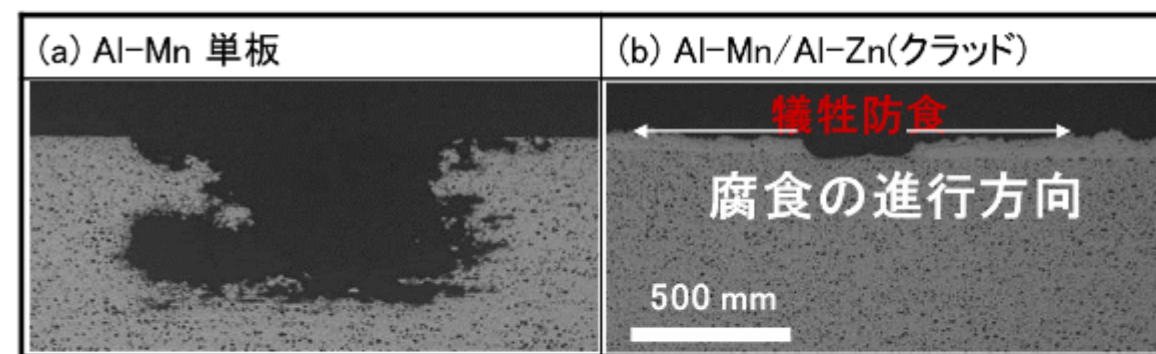
- ・低融点のAl-Si合金ろう材のみ溶解、母材が溶けない温度域で加熱する
- ・クラッドされたろう材が溶融し、隙間や接触部に充填され、冷却、凝固後接合される



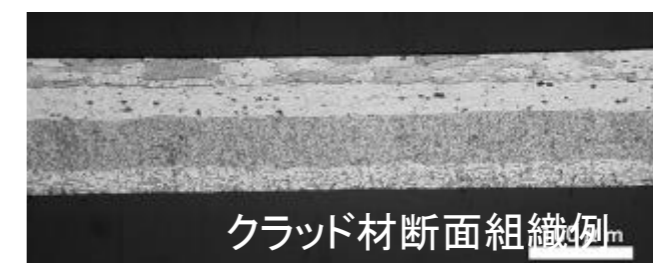
#### <クラッド材による犠牲防食法>



- ・チューブ材表面の層を犠牲にして内部を防食する。
- ・犠牲陽極材の腐食(孔食)が水平方向へ進み、深さ方向へ進行しにくい。

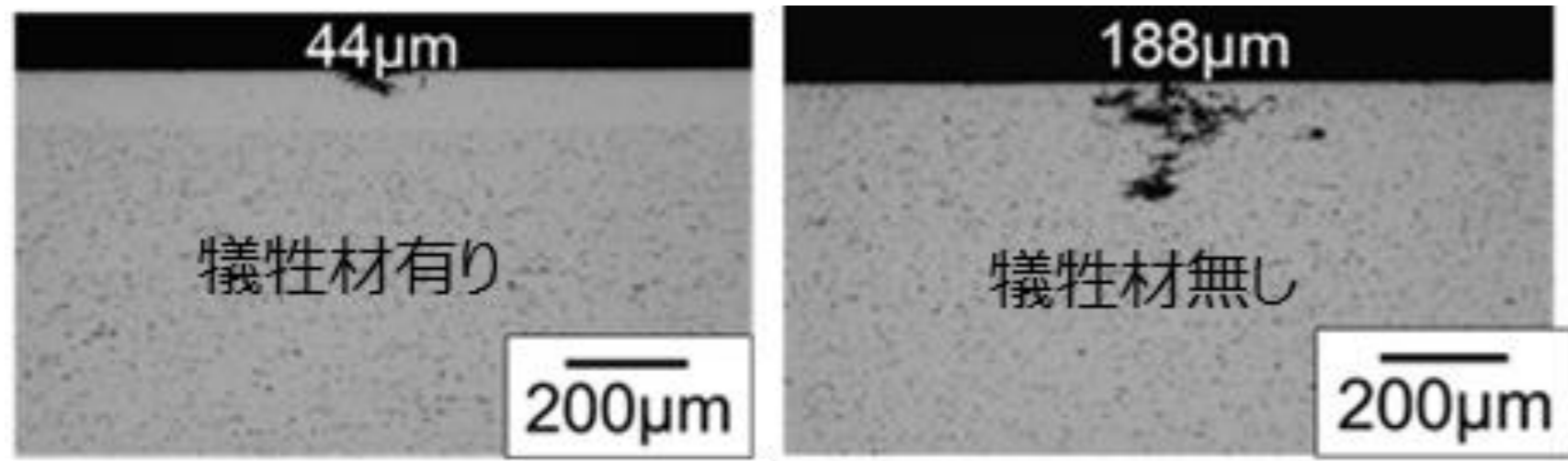


深さ方向への進行が抑制



クラッド材断面組織例<sub>m</sub>

### 内部（高温水道水）耐食性



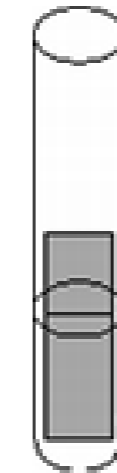
耐水道水腐食試験結果例（名古屋市水浸漬204日）

犠牲材によって板厚方向の腐食が抑制  
 204日で均一腐食換算でMAX6µm程度  
 →10年後は約110µmと予想

余裕を見て150µm程度の犠牲材を貼る

### 外部（燃烧ガス凝縮水）耐食性

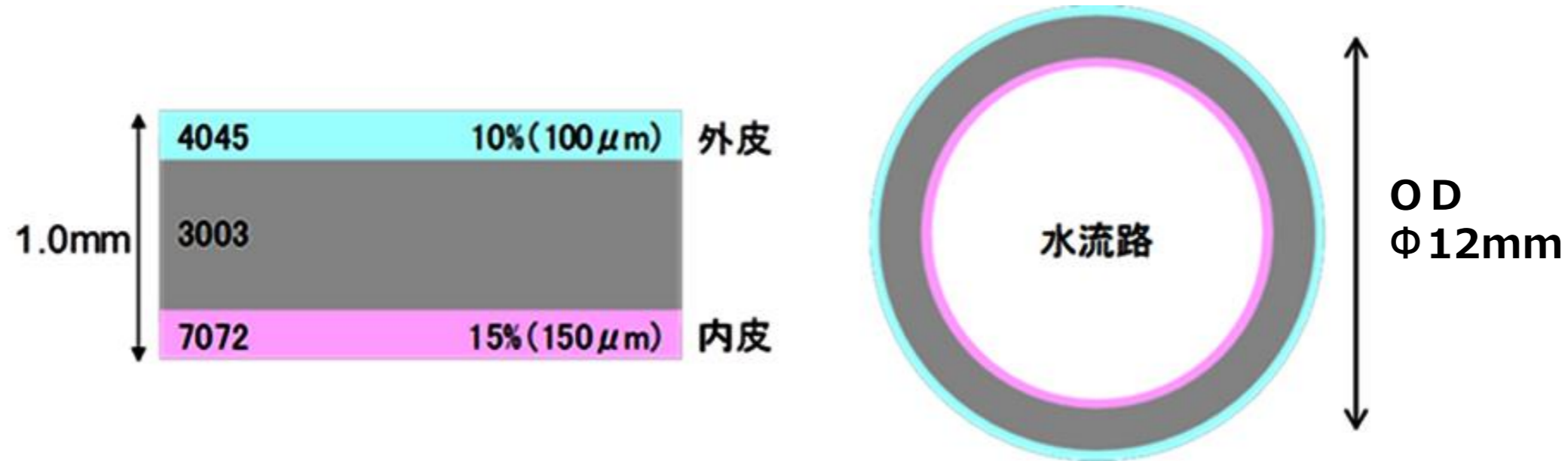
成分 (ppm)			pH
Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
10	100	20	2.6



耐燃烧ガス凝縮水腐食試験結果例  
 (80°C 14サイクル)

犠牲材無しでも軽微な腐食  
 犠牲材無しでも問題ないと判断

### 給湯器二次熱交換器用アルミニウム管の設計・試作



内部水道水側で10年間(約3660日)犠牲防食を働かせる ⇒ 犠牲層 150 μm  
 量産実績からクラッド率を15%程度とする ⇒ 全厚1.0mm  
 外部部燃焼ガス側は犠牲層不要 ⇒ ろう付け用のろう材層 100 μm

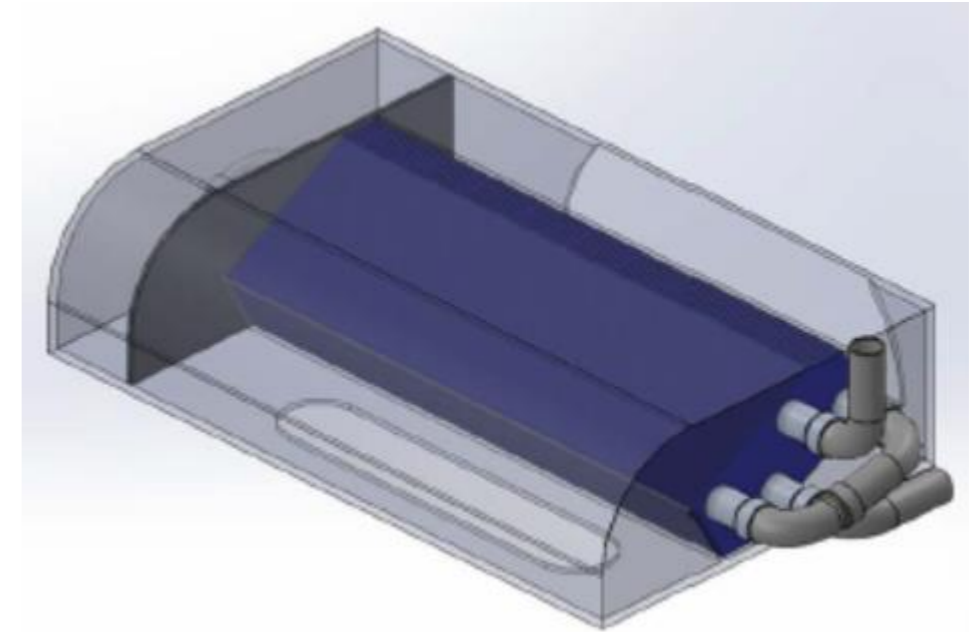
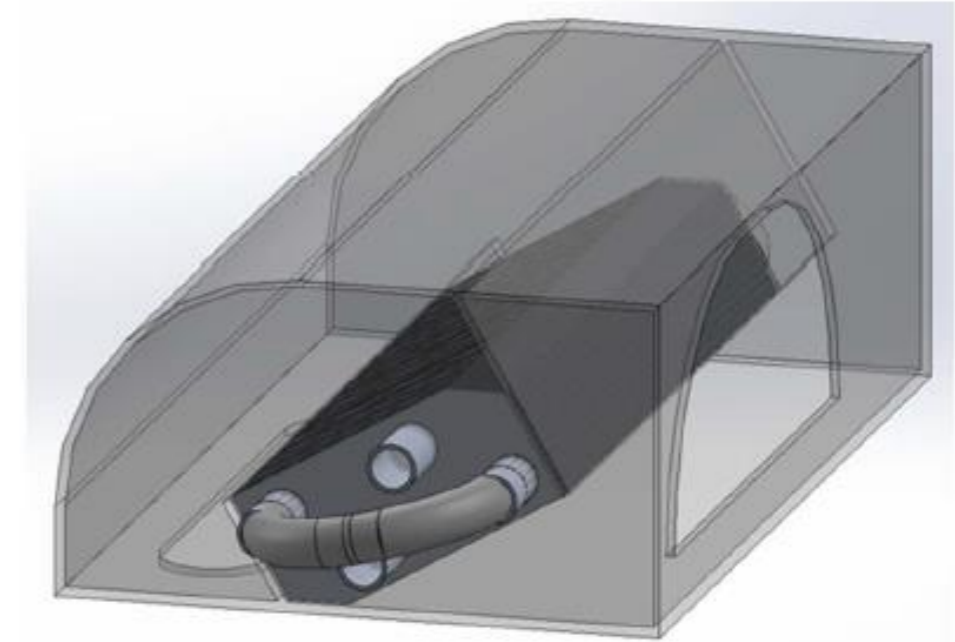
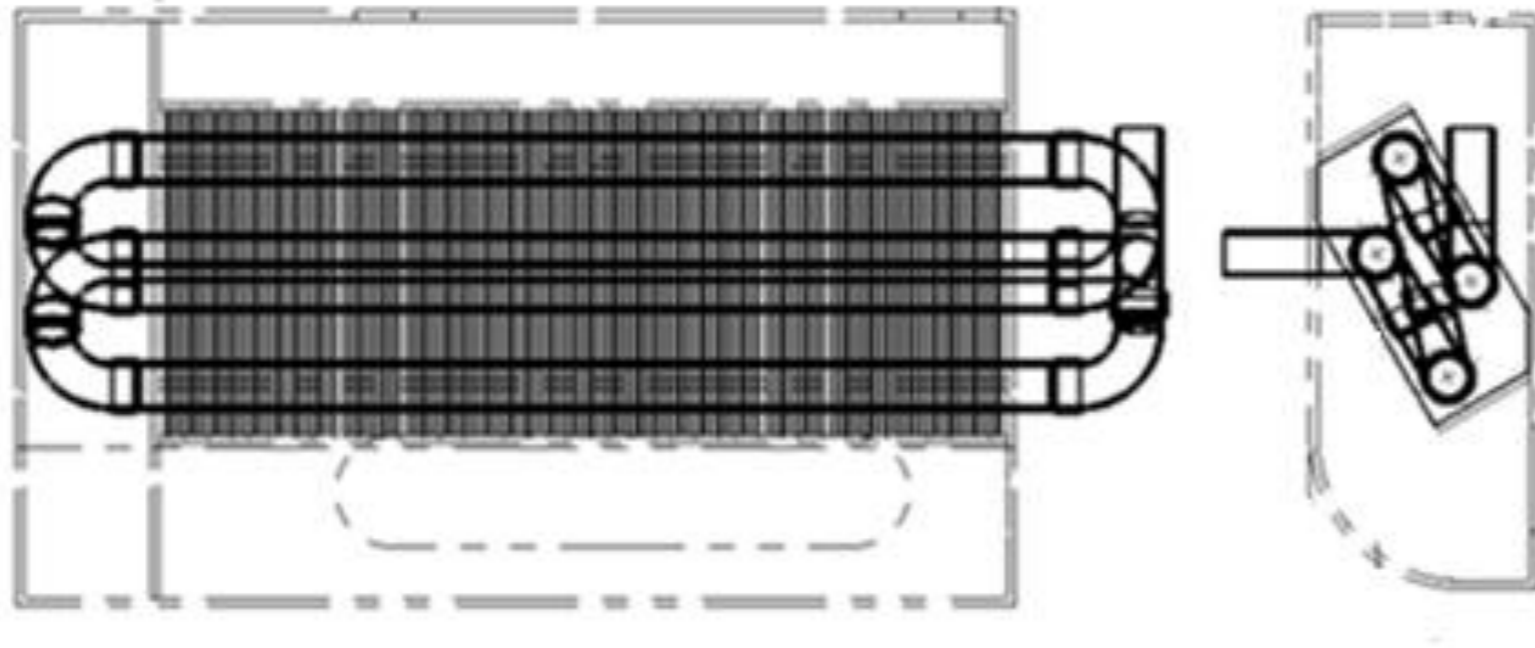
OD Φ 12mm、肉厚1.0mmの3層クラッドパイプを工場試作(押出+引抜き加工)



押出管の外観



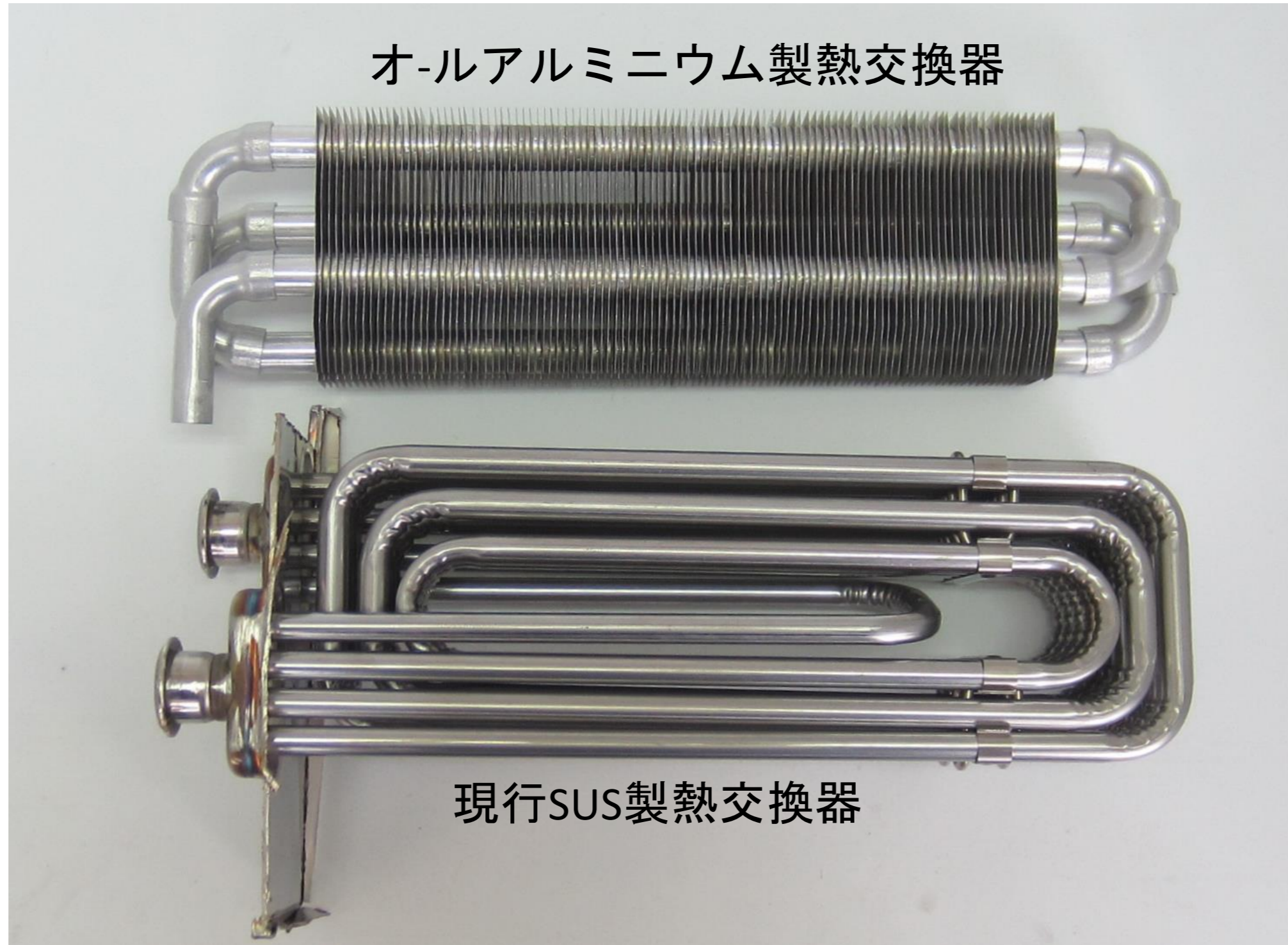
### 給湯器二次熱交換器の設計・試作



- ・アルミニウムの高伝熱性を活かしたフィン&チューブ構造
- ・千鳥配列チューブでコンパクト化
- ・ヘッダーレスで軽量化
- ・実機への実装可能とするためのケース設計

実機の給湯器に実装可能なオールアルミニウム二次熱交換器を設計・試作

### 給湯器二次熱交換器の設計・試作



オールアルミニウム製熱交換器

現行SUS製熱交換器

SUS製熱交換器と比較して占有体積1/2程度、重量1/3程度と大幅な小型・軽量化を達成した

完成したオールアルミニウム製三次試作熱交換器の外観



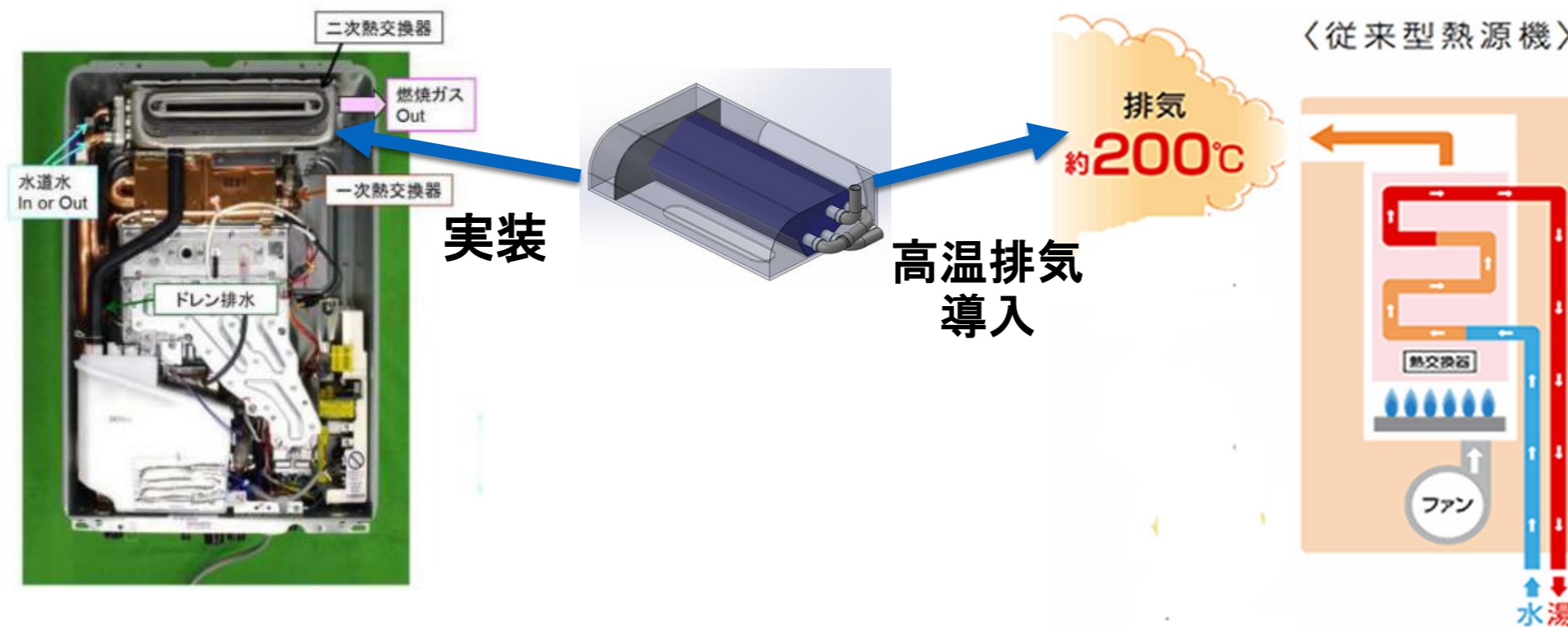
給湯器用二次熱交換器のアルミニウム化の検討を行い、以下の成果を得た。

1. 高温水道水に対する内部耐食性は、150 $\mu$ m厚の犠牲層を張ることで10年以上の耐久性を確保できる見通しを得た。
2. 燃焼ガス凝縮液に対する外部耐食性は、犠牲層無しのアルミニウムで十分な耐久性が得られる見通しを得た。
3. これらの結果に基づき、3層クラッドパイプの工場試作を行った。
4. このクラッドパイプとフィンを組み合わせたオールアルミニウム製二次熱交換器を試作し、従来SUS製熱交換器と比較して重量1/3程度、占有体積1/2程度と大幅な小型・軽量化を達成した。

今後、実際の環境に準じた条件で性能、耐食性の評価を進める

## 給湯器二次熱交換器用材料評価の高精度化と改良熱交換器の試作

- ・実環境を模擬した高温流水試験を実施し、より精度の高い10年後の内部腐食状況を予測
- ・試作熱交換器を使用し、実機給湯器への実装ないし高温排気導入により、熱交換性能、内部・外部耐食性の評価を実施



これらの試験を通じて、より材料、構造を洗練させた試作品を完成。給湯器メ-カ-に提供し、実用化に向けた共同研究を提案する。