

平成29年5月25日

第54回 日本伝熱シンポジウム

熱交換器製造におけるろう付技術に関して

東京ブレイズ株式会社

松 康太郎

東京ブレイズ(株)紹介

東京ブレイズ(株)の主な事業内容

- ・ ろう付及び熱処理の受託加工
- ・ ろう付材料製造・販売
- ・ ろう付設備(連続式水素炉など)製造販売
- ・ **熱交換器(プレート型ろう付タイプ)製造販売**



プレート型熱交換器



ろう付加工品



熱処理加工品

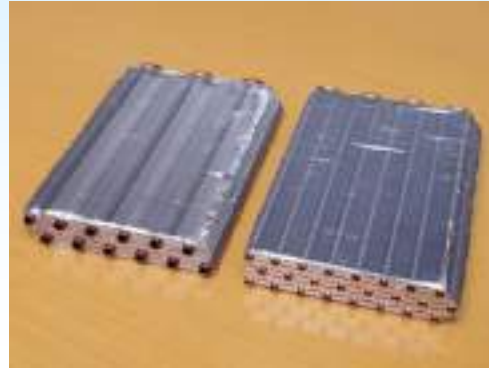


ろう付材料

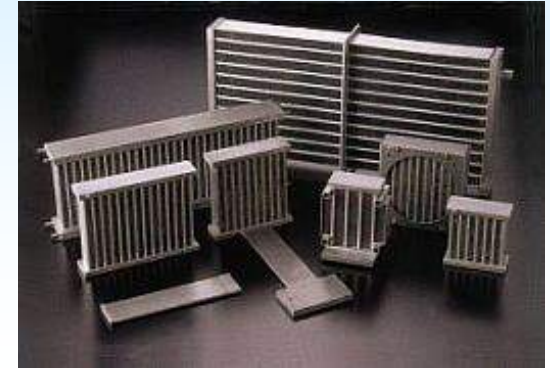
様々な熱交換器



シェルアンドチューブ熱交換器



フィンアンドチューブ熱交換器



コルゲートフィン熱交換器



二重管熱交換器



プレート型熱交換器

伝熱工学資料(改定4版)より

“ものづくり”における接合技術

冶金学的接合

- ・溶接、ろう接
- ・拡散接合

金属同士の接合で、気密性や耐熱性を求められる用途に向いている。
溶接は大型の製品、ろう付は小型・薄物・異材接合が必要な製品で多く用いられている。

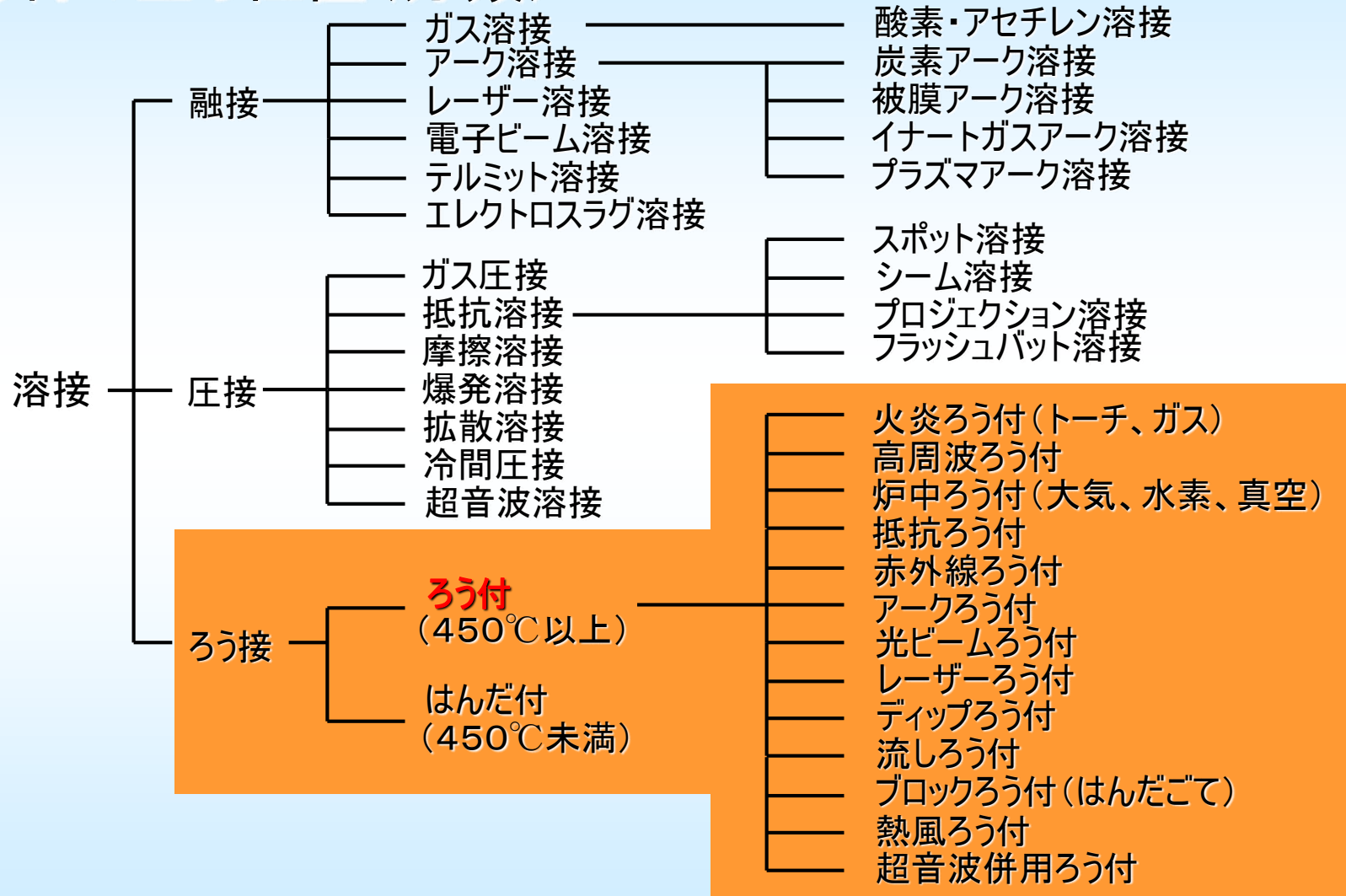
機械的接合

- ・カシメ、拡管
- ・ボルト止め、ビス止め

接着（化学的もしくは物理的接合）

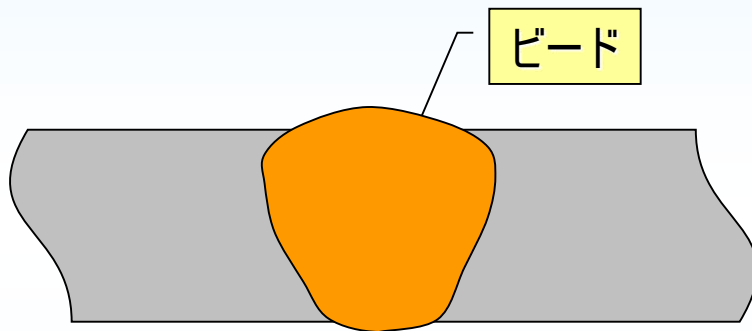
- ・接着
- ・粘着テープ、粘着シールなど

ろう付の立ち位置(分類)



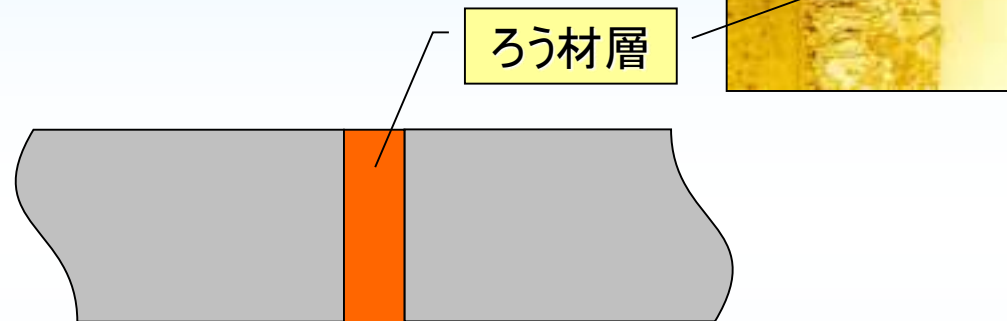
溶接 vs ろう付 （継ぎ手の比較）

溶接継手



- ・ 母材が溶融
- ・ 熱影響部の発生
- ・ 局部加熱による歪

ろう付継手



- ・ 母材が溶融しない(マクロ)
- ・ 毛細管現象による間隙充填
- ・ ぬれと界面反応による接合
- ・ 全体加熱により歪が少ない

ろう付の特徴

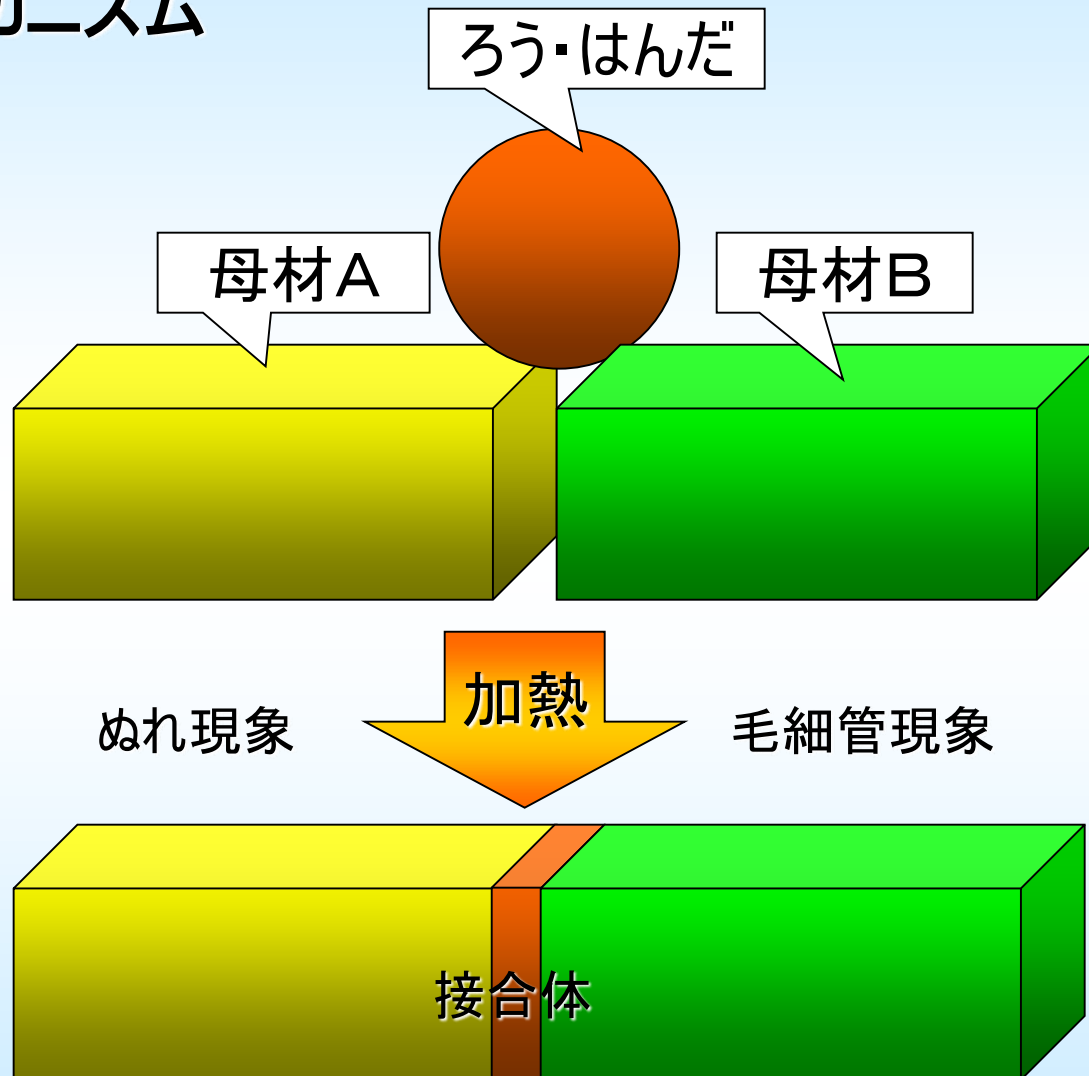
長所

- 母材を溶融しない
- 毛細管現象によるろうの浸透
- 複雑形状や多数箇所同時接合が可能
- 異種金属や非金属の接合
- 母材同等の接合強度
- 作業が簡単で仕上がりが美麗
- 自動化や大量生産向き

短所

- 加熱による熱影響
- 継手の性質に影響
- 継手精度の管理に厳しさ

ろう付のメカニズム



金属表面の酸化被膜を除去

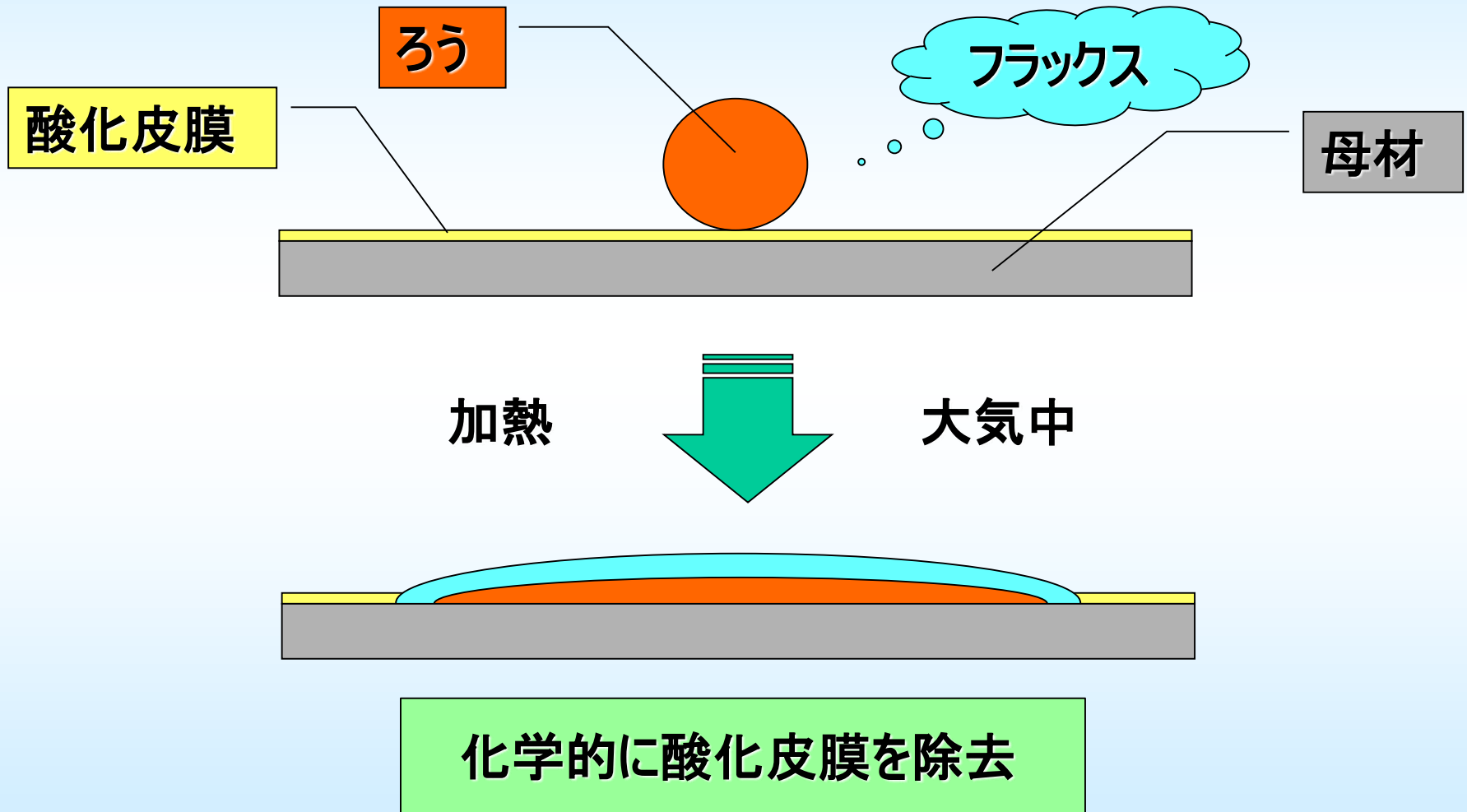
金属の表面にある酸化被膜が邪魔で、ろうが母材とぬれないよ……。加熱中に何とかして酸化被膜を壊さないと！

酸化皮膜

母材



大気ろう付に必要な不可欠なフラックスとは



炉中ろう付に用いられる雰囲気ガスの種類（基本と特性）

1. 水素ガス(H_2)	強還元性
2. 一酸化炭素ガス(CO)	還元性
3. 炭酸ガス(CO_2)	希釈雰囲気
4. 窒素ガス(N_2)	中性無酸化性
5. 不活性ガス(Ar、He)	無反応性
6. 真空(希薄大気)	無酸化雰囲気

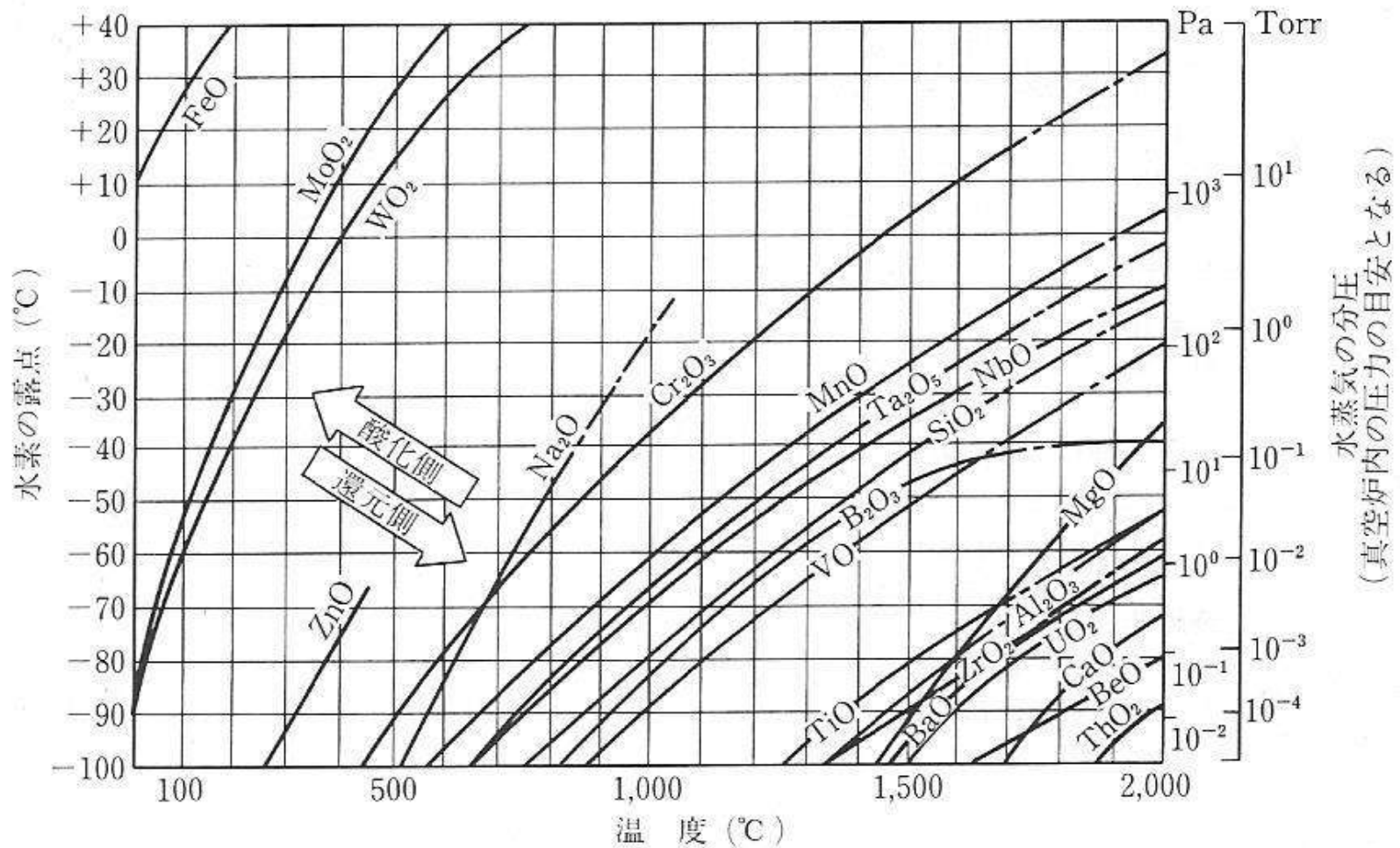
水素ガス(H₂)Hydrogen

製 法 供給源	LPG変成ガス、水の電気分解 分解アンモニア、ボンベ
長 所	○ 酸化物の還元力が最高 ○ 無公害のクリーンガス ○ 最も軽く、熱伝導の良い気体
反応式 (還元)	$\text{MmOn} + n\text{H}_2 = m\text{M} + n\text{H}_2\text{O}$ 金属の酸化物 水素ガス 還元された金属 水(水蒸気)
短 所	○ 水分や酸素濃度の管理が要る ○ 水素脆性や水素化合物への対策 ○ 爆発のイメージが強すぎる

真空（希薄大気） Vacuum

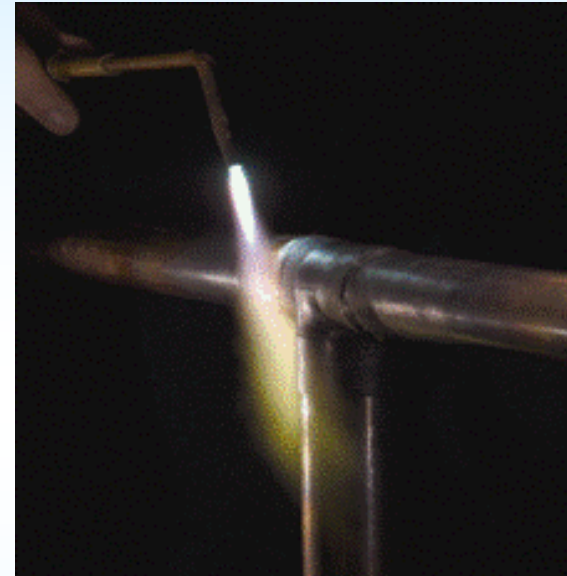
製 法 供給源	真空ポンプによる排気 (実用範囲までの排気)
長 所	○ 真空度により用途が異なる ○ 活性金属や超安定皮膜金属材料 ○ 水素、窒素、アルゴンとの併用可 ○ 設備償却以外の経費は安い ○ 装置の自動化は進んでいる
短 所	○ 設備は高価である ○ 蒸発成分を含む母材には不可 ○ 使用ろうの種類に制限がある

金属の酸化被膜について(酸化と還元)



ろう付方法と加熱設備（大気ろう付：トーチろう付）

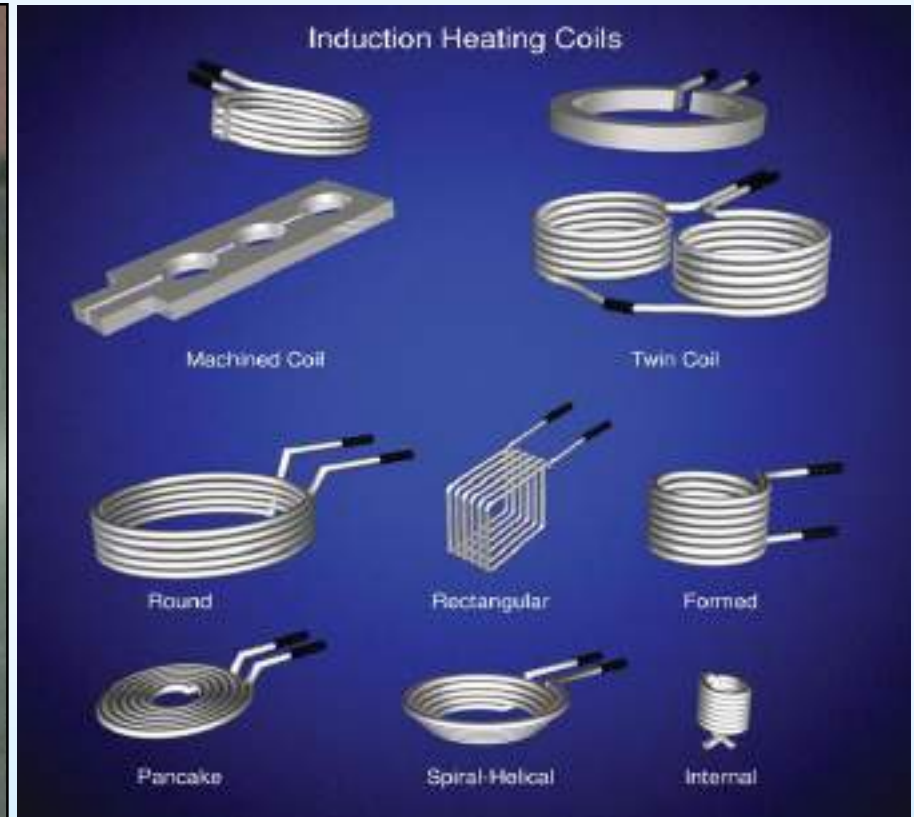
- ・最も単純で簡単な加熱方法
- ・設備コストが安価
- ・ろう付スキルが必要
- ・フラックスを使用する
- ・少量生産向き
- ・自動化も可能（大量生産可）
- ・鉄鋼材料、銅やアルミなどの非鉄金属に対応可能



ろう付方法と加熱設備（大気ろう付：高周波ろう付）

- ・高周波誘導加熱による母材自体を加熱する方法
- ・電気抵抗値の高い金属に有用
- ・比較的速い加熱で、電氣的な温度制御が可能
- ・コイル形状により、様々な形状にも対応
- ・フラックスを使用する
- ・少量生産向き（自動化による量産も可）
- ・鉄鋼材料に対応可能
- ・一部、銅やアルミなどの非鉄金属にも適用

高周波加熱と高周波コイル



ろう付方法と加熱設備（炉中ろう付：雰囲気炉、真空炉）

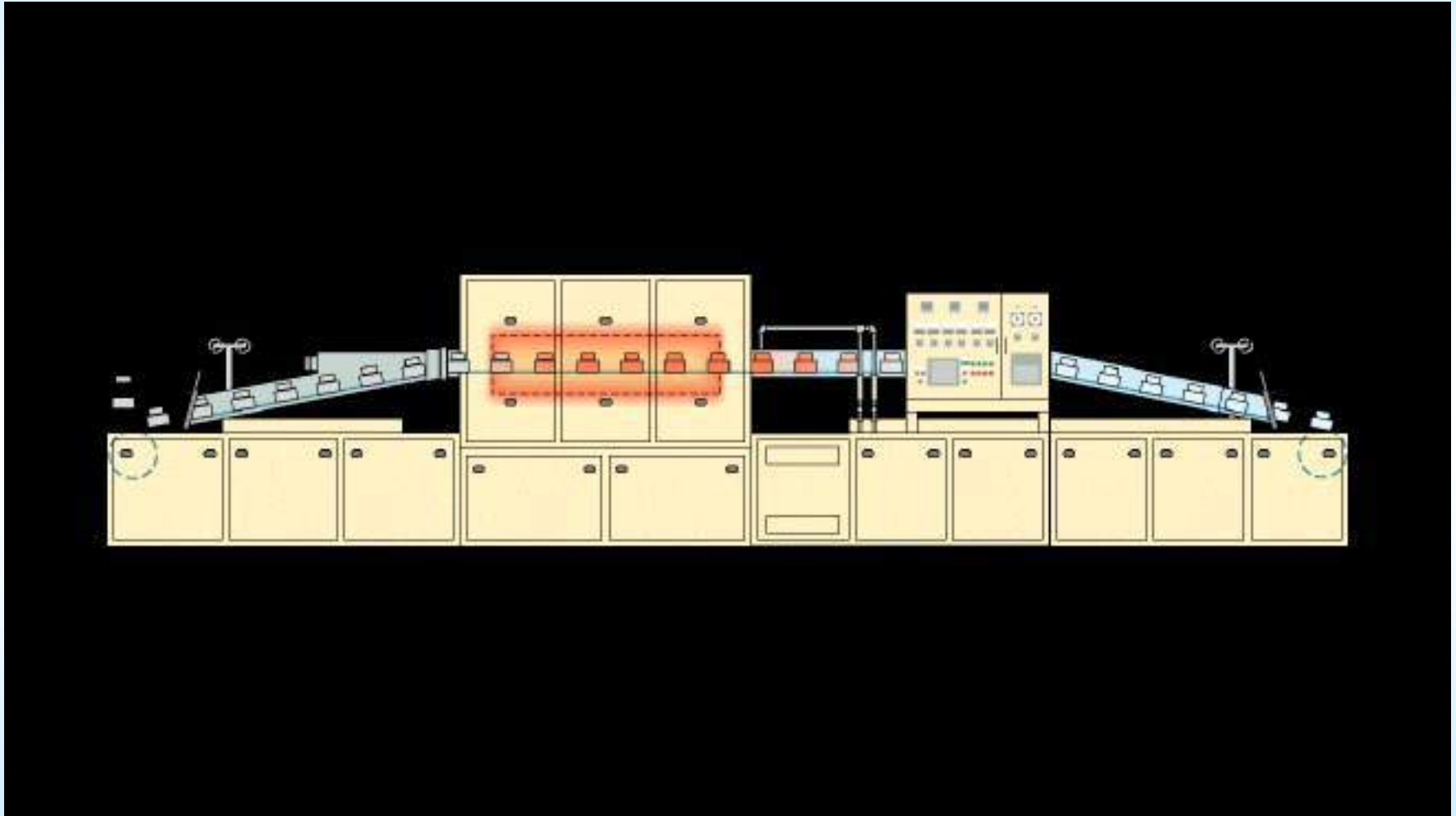
- ・無酸化光輝ろう付が可能
- ・フラックスを使用しない（後処理不要、環境にやさしい）
- ・加熱の熟練が不要
- ・温度管理が容易で品質が安定
- ・大量生産向き
- ・チタンやセラミックスの難易度の高いろう付が可能
- ・設備が高価
- ・ほとんどの母材とろう材の対応が可能
（蒸気圧の高い成分の入っていないもの）

炉中ろう付設備（雰囲気炉：連続式水素炉）



（東京ブレイズ(株)製）

連続式水素炉動作アニメーション



炉中ろう付設備（真空炉：バッチ式）



（東京ブレイズ(株)製）

一般的なろう付方法と加熱設備の選定のコツ

雰囲気ろう付設備5 半連続式真空炉(3室式)



(株)アルバック製)

一般的なろう付方法と加熱設備の選定のコツ

雰囲気ろう付設備6 半連続式真空炉(5室式)



(株)アルバック製)

その他のろう付方法

- ・抵抗ろう付
- ・赤外線ろう付
- ・アークろう付
- ・光ビームろう付
- ・レーザーろう付
- ・ディップろう付
- ・流しろう付
- ・熱風ろう付
- ・超音波併用ろう付
- ・その他

※基本的には熱源がろう付方法の名前になっている

ろう材とは

ろうの定義： 接合部を形成するための充填材料 → ろう接用溶加材

JIS規格:

銀ろう、銅及び銅合金ろう、アルミニウム合金ろう、
りん銅ろう、ニッケルろう、金ろう、パラジウムろう…など

ろうの選択:

- ・母材より融点が低い
- ・母材との相性が良い(ぬれ性及び流動性が良い)
- ・接合部継手の機械的及び化学的性質が使用目的に合う
- ・設備に影響を与えない



以上を踏まえたろう材の選択が、健全なろう付継手を得るためには必要不可欠

弊社で開発した熱交換器とその開発経緯

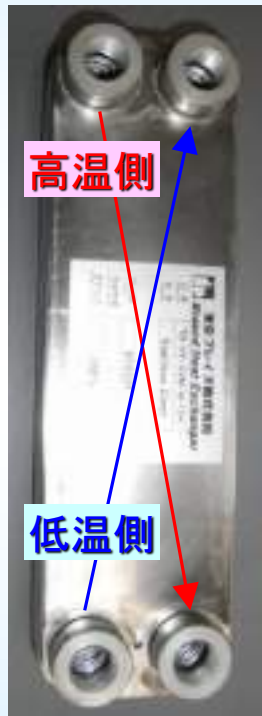
チタン製プレート型熱交換器

- ・チタン製のプレート型熱交換器でろう付によるものは存在しなかった。
- ・チタンの最大の特長は耐食性だが、それに匹敵する耐食性を持つろう材がなかった。
- ・チタン系のろう材を開発し、量産出来る様になった。
- ・ろう付によるチタン製のプレート熱交換器を開発した。

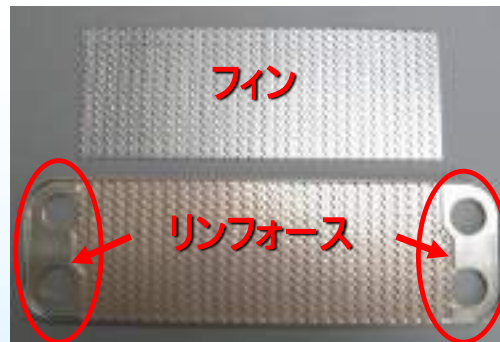
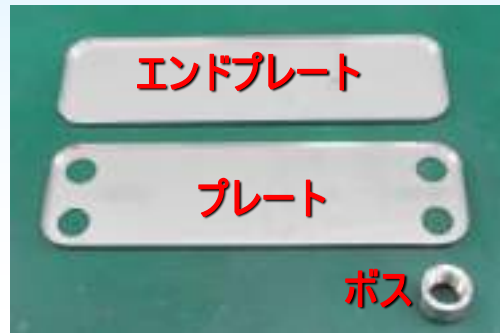
ステンレス鋼製高耐圧プレート型熱交換器

- ・チタン製のプレート熱交換器の開発で、耐圧性能の高い製品が製造できた。
- ・これまでのSUS製プレート熱交換器で、高耐圧性のものが存在しなかった。
- ・高耐圧設計により熱交換器を製造したところ、性能にも優れることが判明した。
- ・ろう付によるSUS製高耐圧プレート熱交換器を開発した。

熱交換器の構造（高耐圧設計）

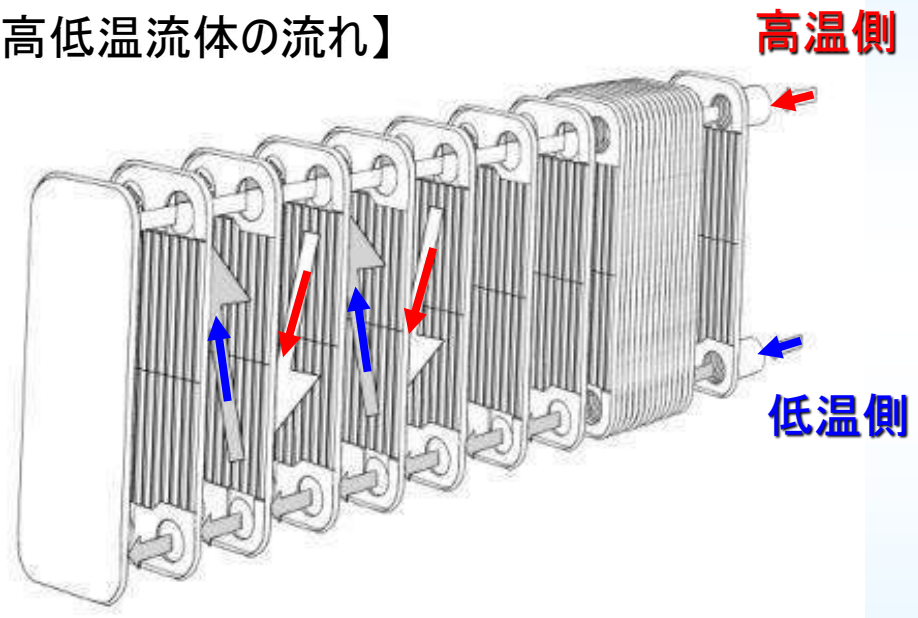


【外観】



【基本部品】

【高低温流体の流れ】



チタン製熱交換器

母材：工業用純チタン第1種

ろう材：チタンろう

ろう付設備：真空炉（高純度シールドガス法：真空+アルゴンガス）



チタン製熱交換器M型



チタン製熱交換器L型

チタン製熱交換器の用途

適用流体

- ・海水・塩水
- ・次亜塩素酸・塩化リチウムなどの各種塩化物
- ・硝酸・クロム酸などの酸化性酸（但し塩酸・硫酸などの非酸化性は除く）
- ・純水（金属イオンの溶解がほとんど無い）
- ・食品（飲料・調味料など）

使用用途

- | | |
|-------------|---------|
| ・船舶・海洋・水産機器 | ・食品工業 |
| ・化学・分析機器 | ・冷凍機器 |
| ・純水使用機器 | ・温泉・地下水 |
| ・医療・生体機器 | |

ステンレス鋼製高耐圧プレート熱交換器

母材：SUS304及びSUS316

ろう材：銅ろう、ニッケルろう

ろう付設備：真空炉（高純度シールドガス法：真空+窒素ガス）



SUS製熱交換器ML型



SUS製熱交換器M型

ステンレス鋼製高耐圧プレート熱交換器（特殊タイプ）



SUS製熱交換器ML型U2



SUS製熱交換器ML型U3

ステンレス鋼製高耐圧プレート熱交換器（特殊タイプ）



SUS製熱交換器L型81段



SUS製熱交換器M型61段

ステンレス鋼製熱交換器の用途

適用流体

- ・各種冷媒
- ・アンモニア(ニッケルろう付)
- ・ブライン

使用用途

- ・CO₂ヒートポンプ(15MPa凝縮器、9MPa蒸発器)
- ・CO₂冷媒冷凍機器やチラー
- ・液化ガスや一般高圧ガス用の気化器
- ・冷凍冷蔵装置
- ・廃熱回収熱交換器
- ・カスケードコンデンサー
- ・切削油やメッキ液の冷却用

熱交換器製造におけるろう付技術の問題・課題

- ・ 母材の組合せでろう付が出来ない母材がある
銅-アルミニウム
ステンレス鋼-アルミニウム
- ・ ろう付の施工方法
大気ろう付でフラックス除去の問題
- ・ ろう付継手部の性質と性能
腐食(ガルバニック腐食)
強度

まとめと今後の展望

- ・ ろう付はものづくりに、特に熱交換器の製造においては非常に重要な接合技術の一つである。
- ・ そのろう付技を駆使して、これまで接合（ろう付）が困難であったチタンのろう付により、チタン製のプレート熱交換器が開発された。
- ・ また、従来のプレート熱交換器の耐圧強度を大きく上回る破壊強度を持つステンレス鋼製のプレート型熱交換器も開発された。
- ・ しかし、ろう付ですべての接合が可能であるわけではなく、未だに課題もある。
- ・ ろう付においては、母材の性質改善、ろう材の性質改善や施工方法改善などでまだまだ開発の余地がある。