

# アルミニウム冷媒配管の性能調査報告

(一財)建築コスト管理システム研究所・新技術調査検討会

## 1 はじめに

現在、空調の冷媒配管は銅管が99%以上のシェアを占めるが、近年の電子機器類の普及に伴うプリント基板の急激な需要増や、新興国の発展に伴う銅素材の需要増加により銅価格高騰及び供給体制に不安がある。また、建築設備工事の就業者数は年々減少し、熟練作業員が減少する中で、施工品質を向上しつつ作業環境を改善するため、銅に代わる新たな材料を早急に検討する必要がある。

このような状況の中、これまで冷媒管として使用されていなかったアルミニウム（以下、「アルミ」という）を冷媒配管として使用する新たな技術が提案された。また、2018年1月31日にアルミ配管の普及を目的とした（一社）アルミ配管設備工業会が設立され、規格の整備等を行うことになった。

そこで、アルミ冷媒配管について銅配管と対比した技術的な性能調査を行った。図1にアルミ冷媒配管による実機検証の事例を示す。



図1 アルミ冷媒配管による実機検証事例

## 2 アルミの特徴

材料としてのアルミは銅と比べ次の特徴がある。

### 1) 安価である

アルミは銅に比べて資源が豊富なため価格が安定しており、かつ安価である。

### 2) 軽量である

アルミの比重は銅の約3分の1と軽量である。

### 3) 共に耐食性が優れている

銅及びアルミはフロン系冷媒に対する耐久性に問題はない。

### 4) 強度が劣る

アルミの引張強度は105N/mm<sup>2</sup>、銅は205N/mm<sup>2</sup>と、アルミは銅の約2分の1である。

### 5) 融点が低い

アルミの融点は約660℃、銅は約1,080℃とアルミは融点が低い。

### 6) 強固な酸化被膜が存在する

アルミの表面に存在する強固な酸化被膜は、ろう付けの場合にろうのなじみを阻害する。

### 7) 熱膨張係数が大きい

アルミの熱膨張係数は銅に比べ非常に大きく、加熱すると銅の約1.4倍伸びる。

### 8) アルミと銅は標準電極電位に大きな差がある

アルミは、パッケージ形空調機内の銅製のコイルと接続する場合は、電食防止措置が必要となる。

## 3 管内径と空調能力の関係

アルミは銅に比べて強度が劣るため、アルミ配管は銅配管より肉厚が厚く、同じ外径管ではその内径は小さくなる。内径差による空調能力（暖房能力）への影響について検証した。

### 3-1 アルミ冷媒配管の内径

アルミ管の最小厚さは曲げ半径が管の外径の4倍の値(4R)未満と4R以上に区分して規定されている。外径毎に算出したアルミ配管の内径(配管の曲げ半径を4R以上の場合)及び現在使用されている銅配管の内径の比較を表1に示す。アルミ配管は銅配管に比べ同じ外径管では肉厚が厚く、断面積は小さい。

表1 配管内径の比較

外径 (mm)	アルミ			銅			アルミ/銅 断面積比 (%)
	材質 質別	肉厚 (mm)	内径 (mm)	材質 質別	肉厚 (mm)	内径 (mm)	
6.35	A3003 -0	0.85	4.65	C1220 -0	0.80	4.75	96
9.52		1.15	7.22		0.80	7.92	83
12.70		1.50	9.70		0.80	11.10	76
15.88		1.80	12.28		1.00	13.88	78
19.05	A6063 -T83	1.05	16.95	C1220 -1/2H	1.00	17.05	99
22.22		1.15	19.92		1.00	20.22	97
25.40		1.30	22.80		1.00	23.40	95
28.58		1.45	25.68		1.00	26.58	93
31.75		1.55	28.65		1.10	29.55	94
38.10		1.85	34.40		1.35	35.40	94

### 3-2 暖房能力試験装置の概要

屋外機1台、屋内機4台の同一の条件で、銅配管のみとアルミ配管を銅配管と同一の外径で配管施工した場合(以下、「アルミ①」という)とアルミ配管の液管のみを1サイズアップして配管施工した場合(以下、「アルミ②」という)の3通りで、暖房能力を測定し、配管系の圧力損失の差と暖房能力への影響について検証を行った。

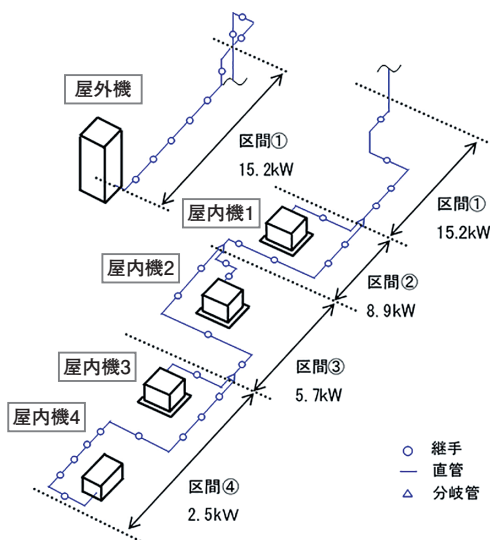


図2 試験装置の配置

評価に用いた配管サイズは6.35φ~15.88φである。

図2に試験装置の配置、表2に試験装置の管サイズ、長さを示す。

表2 試験装置の管サイズ、長さ

工法区分・施工条件		施工区間				
		区間①	区間②	区間③	区間④	
管 材 ・ 管 外 径 ( mm)	銅	ガス管	15.88	15.88	15.88	12.70
		液管	9.52	9.52	9.52	6.35
	アルミ① (銅管と同外径)	ガス管	15.88	15.88	15.88	12.70
		液管	9.52	9.52	9.52	6.35
アルミ② (液管外径アップ)	ガス管	15.88	15.88	15.88	12.70	
	液管	12.70	12.70	12.70	9.52	
共 通 項 目	通過する冷媒熱量 (kW)		15.2	6.9	5.7	2.5
	配管長さ (m)		26.9	4.6	4.3	7.9
	継手 (個)		15	4	4	9
	曲がり (か所)		20	2	2	2

### 3-3 配管の圧力損失

配管系の圧力損失は、直管部分においては管内壁との摩擦により発生し、管が変形する部分では局所的な損失が発生することから、直管、継手、曲り、分岐に分けて検討した。

直管の圧力損失は、管壁等価粗さを $\epsilon = 0.0015$  mmとしてダルシーワイズバッハの式により算出した。継手は流速と抵抗係数を基に算出し、曲り及び分岐は相当長を用いて算出した。

図3に冷媒管工法区分毎の圧力損失を示す。

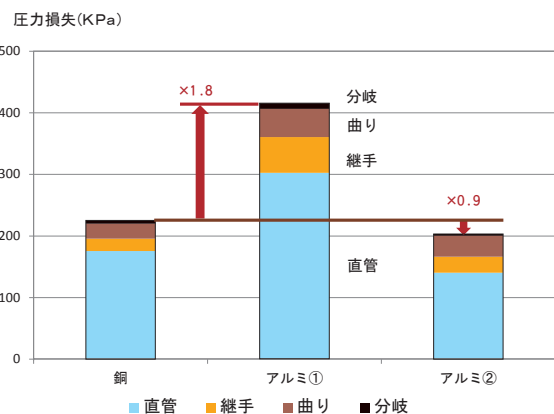


図3 冷媒管工法区分毎の圧力損失

銅系統とアルミ②系統の圧力損失は、ほぼ同じであったが、アルミ①系統の圧力損失は、銅系統の約1.8倍であった。

### 3-4 暖房能力とアルミ配管外径

暖房能力の計測は室外機に設置した圧力計、温度計、電流計の値により、モリエル線図を用いて凝縮熱量と冷媒循環量を求め、凝縮熱量に冷媒循環量を乗じて算出した。

図4に冷媒管工法区分毎の暖房能力の計測結果を示す。

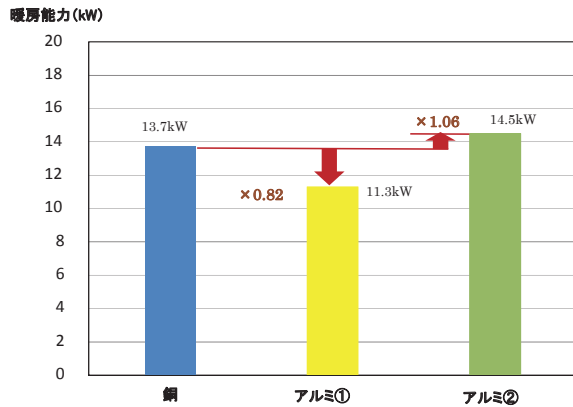


図4 冷媒管工法区分毎の暖房能力

アルミ①システムの暖房能力は銅システムの18%減であったが、アルミ②システムの暖房能力はほぼ同じ能力であった。液管のみを1サイズアップすることで銅とほぼ同じ能力が確保できた。

理論的には、圧力損失は速度の二乗に比例し、暖房能力は速度に反比例する。このため、暖房能力は圧力損失の比率の平方根に反比例すると考えられる。前項にて得られた銅システムとアルミ①システムの圧力損失の比率1.8の平方根は約1.3であり、銅システムとアルミ①システムの暖房能力の比率0.82の逆数1.22倍とほぼ同じであった。

このことは、冷媒配管の圧力損失を求めることにより、暖房能力的に最適なアルミ冷媒管サイズを選定することが可能であり、配管サイズの見直しによるコストダウンの可能性を示唆している。

## 4 継手

ろう付けとメカニカル継手について報告する。なお、メカニカル継手は製造者により工法が異なるため、二つの工法について検証した。

### 4-1 ろう付け

融点、酸化被膜、熱膨張係数とアルミは現場にてろう付けをする場合に困難な事項が存在するが、次に示す対応策の提案もされている。

#### 1) 融点が低いことに対する対応

アルミ配管は、融点が低いことから適切な母材の温度管理がされない場合、母材に穴をあけてしまうことがある。このことを解決する手法として、アルミろう付け作業ガイダンスソフトが提案されている。

図5にアルミろう付け作業ガイダンスによる作業状況を示す。



図5 アルミろう付け作業ガイダンス

本ガイダンスは、アルミ溶接時に重要な下記の事項等を動画及びアナウンスにて作業者に分かりやすく提供するソフトである。

- ①作業場所の温度・湿度を考慮した、適切な加熱時間
  - ②下部から上部へと加熱方向を変更する時期（1点に集中した加熱の防止）
- 2) 強固な酸化被膜の存在に対する対応
- 酸化被膜を容易に除去できるアルミ専用のフラックス（ろう付け促進剤）を使用する。
- 3) 熱膨張係数が大きいことに対する対応
- 配管部材を完全に固定せず、出来るだけ自由度の高い状態でろう付け作業を行う。

## 4-2 メカニカル継手

メカニカル継手には次の特徴がある。

- 1) ろう付けほどの習熟度を必要とせずに、容易に施工が可能である。
- 2) 火無工法のため火災のリスクを低減できる。

### 4-2-1 メカニカル継手方式①

専用工具を用いてかしめる継手方式（以下、「かしめ継手方式」という）で、図6にかしめ継手方式の継手の断面、図7にかしめ継手方式による施工状況を示す。

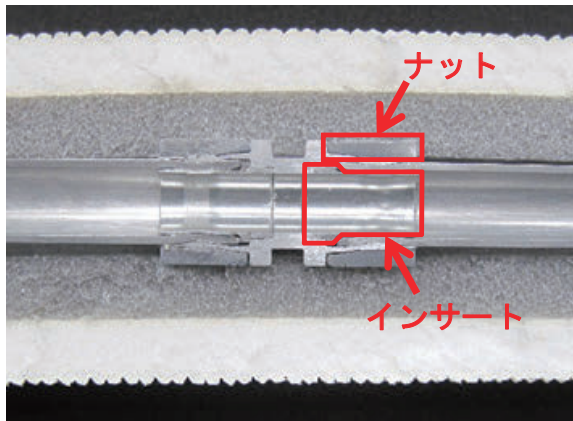


図6 かしめ継手方式の継手断面



図7 かしめ継手方式による施工状況

かしめ継手方式の特徴を次に示す。

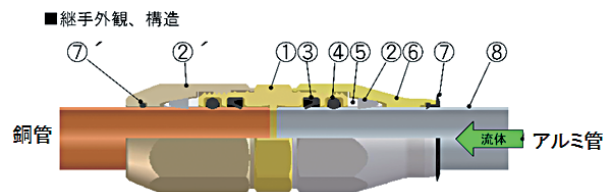
- 1) 継手本体にインサート、ナットが予めセットされているため、現場におけるインサート、ナットの紛失の防止及び作業時間短縮が期待できる。
- 2) スリムな形状のため、製造者の標準施工では専用保温カバーを必要とせず配管に被覆された

保温材で保温施工を行うことができる。

- 3) 自動化された専用工具により、施工講習の受講を受けることにより確実な施工が期待できる。
- 4) 専用工具が高価である（当初はリースによる調達が主流になると思われる）。

### 4-2-2 メカニカル継手方式②

銅配管用継手の基本構造を踏襲した、袋ナットを締め付ける方式（以下、「袋ナット継手方式」という）で、図8に袋ナット継手方式の断面（銅-アルミ接続）、図9に袋ナット継手方式による施工状況を示す。



番号	部品	備考
①	接手本体	
②	アルミ管用ナット	②' は銅管用ナット
③	Vパッキン	
④	Oリング	
⑤	レバリッジリング	
⑥	レバリッジコーン	
⑦	絶縁リング	⑦' は銅管用端面Oリング
⑧	アルミ管	

図8 袋ナット継手方式の断面（銅-アルミ接続）



図9 袋ナット継手方式による施工状況

袋ナット継手方式の特徴を次に示す。

- 1) 工具がモンキーレンチのみと、工具の手配が楽である。
- 2) 銅配管接手として長年の実績がある工法を継承しているため、アルミ配管においても安定した施工が期待できる。
- 3) 人力作業のため大口径では、大きな力が必要となる。

### 4-3 メカニカル継手としての各種試験結果

継手の試験は、ISO14903「冷凍システム及びヒートポンプ構成部品及び継手の気密性の認定」に準拠した試験にて行った。

試験項目は、気密試験、PTV試験（圧力、温度、振動）、凍結試験、真空試験、耐圧試験、疲労試験であり、かしめ方式及び袋ナット方式の両継手方式ともこれらの判断基準を満足していることが確認された。

## 5 施工性の検証

施工性の検証は4階建ての事務所ビルにて行った。同一条件の2系統の1系統を銅配管、もう1系統をアルミ配管（かしめ継手方式、銅配管と同外径）にて施工した。

表3に施工性の検証の条件、図10に施工時間の比較を示す。

表3 施工性の検証の条件

	項目	条件
比較項目	銅管	メカニカル継手
	アルミ管	メカニカル継手（かしめ継手方式）
共通項目	検証建物	4階建ての事務所ビル
	対象機器	冷房能力：50kW、暖房能力：56kW
	対象機器	屋外機 2台、屋内機 1台（熱交換器2機）
	冷媒管外径	ガス管：25.4φ、液管：12.7φ
	配管長さ	75m（室内機と室外機の高低差12.1m）
	継手の接続個数	26個（ガス管、液管 各13個）
	作業員	配管 4名、保温 3名
作業時間の集計	各作業員の作業時間の合計	

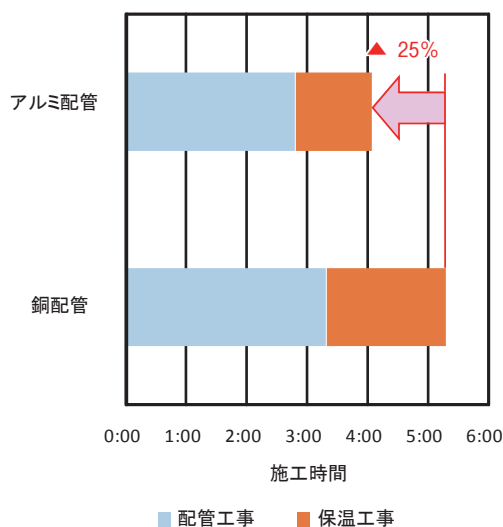


図10 施工時間の比較

配管の作業時間を比べると、配管の質量の軽さ、接手の施工性の良さにより、銅配管が3時間20分に対し、アルミ配管は2時間49分と配管作業で約15%の短縮が図れた。

保温の施工時間は、銅配管が1時間59分であったのに対して、アルミ配管は1時間16分と36%の時間短縮が図れた。銅配管の継手が配管に被覆された保温材よりも厚い専用の保温カバーが必要であったのに対し、アルミ管に用いた継手がスリムで継手部の保温に専用の保温カバーを必要とせず、配管に被覆されていた保温材を利用することで時間短縮に繋がったと考えられる。

配管工事と保温工事を合わせた施工時間は、銅配管の合計は5時間19分、アルミ配管は4時間9分であり、配管工事と保温工事を合わせた場合、約25%の時間短縮が図れた。

## 6 耐久性等の実機検証

冷媒配管システムの場合は、促進試験が行えないため同一条件の銅配管とアルミ配管を実験室内に施工し、5年前より長期の耐久性の検証を行っている。



図11 耐久性の実機検証

図11に耐久性の実機検証の状況を示す。

2017年5月より気象条件や空調機の運転パターンが異なる全国9ヵ所（内2ヵ所は終了）の現場事務所等で17ヵ月（2018年11月時点）のフィールド検証も実施している。

これらの検証において腐食、漏れなどの冷媒管に起因する不具合は生じていない。

## 7 まとめ

今回の性能調査で下記のことが確認できた。

- 1) アルミ配管を銅配管と同じ外径で施工するとアルミ配管の暖房能力は、銅配管の暖房能力より約18%低下するが、液管のみを1サイズアップするなどの措置を取ることで、暖房能力の低下を防止できる。
- 2) 配管を軽量化できるため、施工性の向上及び作業員の負担軽減が図れる。
- 3) アルミ冷媒管の長期使用に関して、腐食、漏れなどの冷媒管に起因する不具合は確認されおらず、銅管と同程度の耐久性がある。

アルミ冷媒配管の防火区画貫通処理は既に認定された工法があり、アルミ冷媒配管を工事に採用する環境は整いつつある。

今後、アルミのコイルを用いたパッケージ形空調機が生産されれば、アルミ冷媒配管の更なる需要の拡大が期待される。

最後に本稿をまとめるにあたり、高砂熱学工業株式会社殿、三機工業株式会社殿より資料の提供等のご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

### (参考文献)

- 1) 込山治良ほか「アルミ冷媒配管システムの開発その1 機械式継手の開発とフィールド検証」『日本建築学会大会学術講演梗概集』p.1394, 2018
- 2) 権田勝美ほか「アルミ冷媒配管システムの開発その2 アルミろう付の建築施工現場への実用化」『日本建築学会大会学術講演梗概集』p.1395, 2018
- 3) 内山聖士ほか「アルミニウム配管を用いた冷媒配管施工の実験的研究 メカニカル継手の構造と施工性の検証」『空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集』2017.9
- 4) 内山聖士ほか「アルミニウム配管を用いた冷媒配管施工の実験的研究その2 アルミニウム配管の使用とメカニカル継手の性能」『空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集』2018.9
- 5) 内山聖士ほか「アルミニウム配管を用いた冷媒配管施工の実験的研究その3 配管サイズによる暖房能力の検証」『空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集』2018.9