

アルミンジャー™ 工法技術資料(3) 配管サイズについて

2018年10月1日

三機工業株式会社

アルミニウム冷媒配管工法「アルミンジャー™ 工法」で使用する冷媒用被覆アルミニウム配管は、銅配管に比べて肉厚になるため、同じ呼び径（外径）では圧力損失が大きくなります。そのため、銅配管と同じ配管径でシステムを構成すると、冷媒の流れが悪くなり、性能が低下することが予想されます。本資料では、この性能低下を回避するために、配管サイズを一部大きくした場合の、配管抵抗、能力に対して検証したものです。液管サイズを1サイズアップすることで配管抵抗を銅配管と同等にでき、かつ同等の性能を得ることができました。

【注】本資料は、これを参考として設計された冷媒配管システムの性能を、三機工業株式会社が保障するものではありません。

【参考文献】 内山ら,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(名古屋),第8巻,pp.25-28,2018.9

はじめに

アルミニウムは銅に比べて強度が劣るため、同一外径で配管設計を行うとアルミニウム配管は銅配管に比べて肉厚が厚くなる。配管の肉厚が厚くなると、配管の内径が小さくなるため配管抵抗が増大し空調機の能力に影響すると思われる。そこで、本研究では銅配管とアルミニウム配管を同一外径で配管施工した場合とアルミニウム配管の液管のみをサイズアップし配管施工した場合とで、暖房能力を測定し比較した結果を示す。また、配管系の圧力損失の差と暖房能力への影響について考察した。

1. 評価に用いた配管サイズ

評価に用いた配管サイズは6.35φ～15.88φである。アルミニウム配管は3003-Oを使用し、銅配管は1220-Oを使用した。アルミニウム配管は12.7φ、15.88φで銅管よりも肉厚は大きい(表1)。

表1：使用した配管の外径と肉厚

外径	肉厚(mm)	
	アルミニウム	銅
6.35	0.85	0.80
9.52	1.15	0.80
12.7	1.50	0.80
15.88	1.80	1.00

※アルミニウムは3003-O、銅は1220-Oを使用した。

2. 試験装置

2.1. システム概要

試験室内に室内機4台と室外機1台のビルマルチエアコンを3系統設けた。1系統目(銅系統)は銅配管と銅のメカニカル継手で施工し、2系統目(アルミニウム①系統)は銅配管系統と同じ外径サイズのアルミニウム配管とアルミニウムメカニカル継手で施工した。3系統目(アルミニウム②系統)は液管のみを銅配管系統の外径サイズよりもワンサイズアップし、ガス管は銅配管の外径サイズと同じとして、アルミニウム配管とアルミニウムメカニカル継手で施工した(図1)。室内機と室外機の仕様はいずれの系統も図1の通りである。室内機①の暖房能力は6.3kWである。室内機②と室内機③の暖房能力は3.2kWである。室内機④の暖房能力は、2.5kWである。1系統あたりの暖房能力は15.2kWである。各系統のメイン配管の配管長さ及び配管サイズ、継手個数、曲がり個数は表2の通りである。いずれの系統も分岐管は、銅製の分岐管を用い、ワンサイズアップの場合は分岐管本体のサイズアップはせずに、分岐管の接続部で異径継手により接続しサイズを変更した。使用した冷媒はR410Aである。

試験では系統ごとに2時間置きに運転を行った。1系統の運転では4台の室内の設定温度を30℃にし、全ての室内機を運転した。計測は外気温度が6℃～8℃のときに行った。

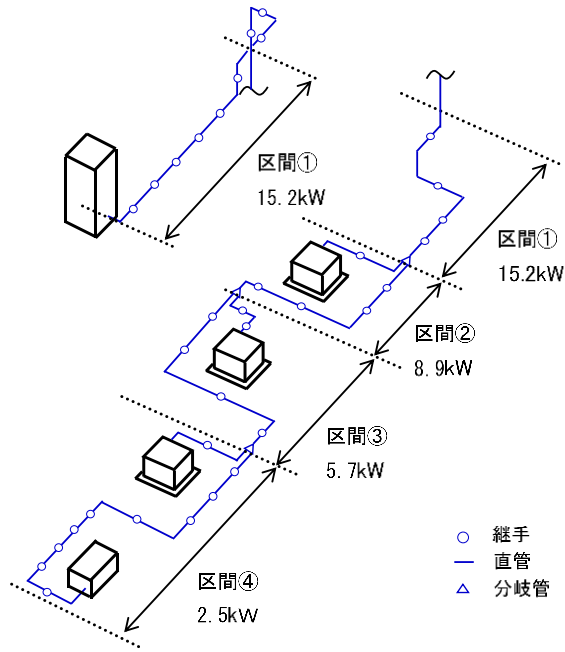


図1 試験装置

表2 試験装置 管サイズ、長さ

		区間①	区間②	区間③	区間④	
配管長さ		26.9m	4.6m	4.3m	7.9m	
配管サイズ	銅	ガス管	15.88	15.88	15.88	12.7
		液管	9.52	9.52	9.52	6.35
	アルミ②	ガス管	15.88	15.88	15.88	12.7
		液管	12.7	12.7	12.7	9.52
継手個数		15	4	4	9	
曲がり個数		20	2	2	4	

2.2. 測定点

暖房能力の比較は室外機に設置した圧力計、温度計の値によって行った。測定点を図2に示す。圧縮機の出口側で、圧縮機出口温度を測定した。圧縮機出口の近傍で凝縮圧力と凝縮温度を測定した。アキュムレータの入口で圧縮機の入口温度と蒸発温度を測定した。電子膨張弁の入口で過冷却温度を測定した。また室外機全体の電流値を測定した。

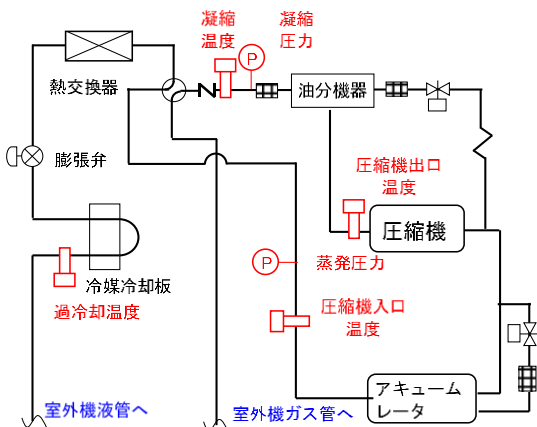


図2 室外機測定点

3. 暖房能力の測定結果

3.1. 圧力、温度の測定結果

室外機内の計器で測定した圧力と温度の結果を表3に示す。銅系統とアルミニウム②系統の測定値はいずれの測定値もほぼ同じ値である。銅系統とアルミニウム①系統を比較すると圧縮機出口温度は、アルミニウム①系統の方が銅系統よりも低い。凝縮温度はアルミニウム①系統の方が銅系統に比べて高い。また消費電力はアルミニウム①系統の方が銅系統よりも低い値であった。

表3 圧力、温度の測定結果

	銅	アルミ①	アルミ②	
圧縮機出口温度	°C	69.6	63.5	68
過冷却温度	°C	35.3	25	32.2
凝縮圧力	MPa	2.71	2.84	2.75
凝縮温度	°C	46.5	48.7	47.3
蒸発圧力	MPa	0.71	0.83	0.71
蒸発温度	°C	0	5	0
圧縮機入口温度	°C	0	3	0
電流値	A	19.1	10.3	18.7

3.2. 暖房能力の算定

暖房能力は、表3の値をモリエル線図にプロットし、圧縮機仕事と凝縮熱量を求めた後に、凝縮熱量に冷媒循環量を乗じて算出した。モリエル線図へは次の手順でプロットし、プロットした後に暖房能力を算出した。

- ① アキュムレータ入口温度と蒸発圧力をから圧縮機の入口状態をプロットする。
- ② 圧縮機の出口温度と凝縮圧力から圧縮機の出口状態をプロットする。
- ③ 凝縮圧力と過冷却温度から膨張弁の入口状態をプロットする。
- ④ 過冷却温度と蒸発圧力から膨張弁の出口状態をプロットする。
- ⑤ 最後に各点を結ぶ。

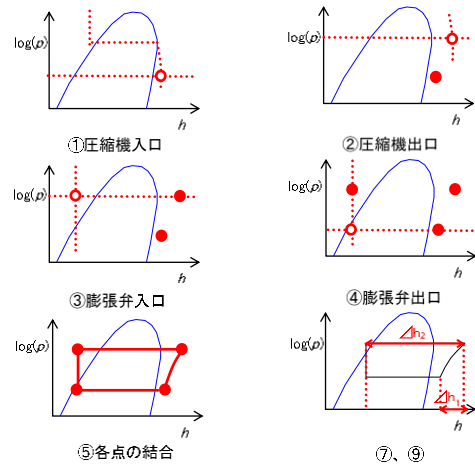


図3 モリエル線図の作図

- ⑥ 電圧を200Vとし測定した電流値から室外機の

消費電力を算出した。(消費電力[kW]=電圧[V]×電流値[A]× $\sqrt{3}$ ÷1000)

- ⑦ 圧縮機出入口の比エンタルピー差から圧縮仕事を読み取った。
- ⑧ 室外機の電流値のうち 40%が圧縮機の軸動力に消費されると仮定し軸動力を算出した。軸動力を圧縮仕事と効率で除して冷媒循環量を算出した。(軸動力[kW]=冷媒循環量[kg/s]×効率[-]×比エンタルピー差[KJ/kg])
- ⑨ 凝縮器の出入口の比エンタルピー差から凝縮熱量を読み取った。
- ⑩ 凝縮熱量に冷媒循環量を乗じて暖房能力を算出した。(暖房能力[kW]=冷媒循環量[kg/s]×比エンタルピー差[KJ/kg])

算出した暖房能力を図4示す。銅系統の暖房能力は13.7kWであった。アルミニウム①系統の暖房能力は11.3kWであった。アルミニウム②系統の暖房能力は14.5kWであった。銅系統とアルミニウム②系統の暖房能力はほぼ同じであった。銅系統の暖房能力は、アルミニウム①系統の暖房能力の1.2倍であった。

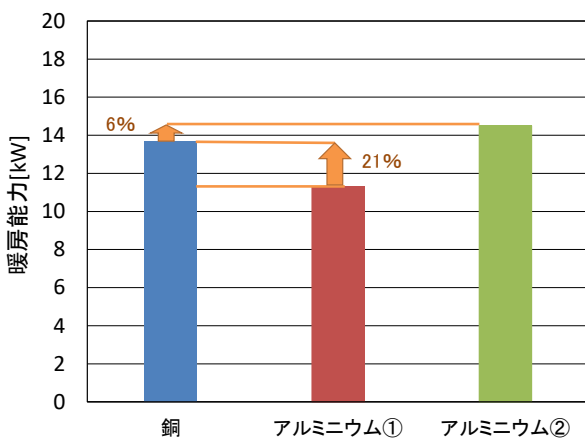


図4 暖房能力

4. 配管系の圧力損失

試験装置のガス管にはガス状態の冷媒が流れ、液管には液状態の冷媒が流れると仮定し、圧力損失を算出する。ガス状態、液状態の冷媒の温度は、銅系統の計測値を用い、R410Aの物性値表¹⁾より、粘度と密度を次の値とした。ガス温度は46℃であり、ガスの粘度は16.4 μPaS、密度は122.6kg/m³とした。液温度は32℃であり、液の粘度は105 μPaS、密度は1003.5kg/m³とした。

4.1. 配管

配管の圧力損失に算出にあたっては図1の区間ごとのが担う熱量を凝縮熱量で除して、区間①～区間④の配管の冷媒循環量を算出した(冷媒循環量[kg/s]=

各区間の熱量[kW] ÷凝縮熱量[kJ/kg])。

算出した冷媒循環量を配管の内面積と密度で除して、区間ごとの流速を求めた(管内流速[m/s]=冷媒循環量[kg/s]÷断面積[m²]÷密度[kg/m³])。この流速を用い、配管の圧力損失は既往研究²⁾と同様にダルシーワイズバッハの式により算出した。管摩擦係数は、ムーディの式により算出した。ムーディの式において管壁等価粗さは、ε=0.0015mmとした。

$$\Delta P = \lambda \times \frac{l}{d} \times \frac{\rho}{2} V^2$$

ただし

ΔP: 直管の圧力損失[Pa]

λ: 管摩擦係数[-]

l: 管長さ[m]

d: 管内径[m]

ρ: 密度[kg/m³]

V: 流速[m/s]

$$\lambda = 0.0055 \left\{ 1 + \left(20000 \frac{\epsilon}{d} + \frac{10^6}{Re} \right)^{\frac{1}{3}} \right\}$$

ただし

λ: 直管の圧力損失[Pa]

ε: 管壁等価粗さ[m]

d: 管内径[m]

Re: レイノルズ数[-]

4.2. 継手

(1) 抵抗係数の測定

継手の抵抗係数は、次の方法で算出した。

- 配管外径が6.35mm～15.88mmで配管長さが20mの銅管又はアルミニウム配管に管内流速0.1m/s～3m/sで清水を流し、配管前後の圧力損失を測定する。
- 配管外径が6.35mm～15.88mmで配管長さが20mの銅管又はアルミニウム管に各サイズ、管種に応じたメカニカル継手20ヶを接続する
- 配管に継手を接続した試験体内に管内流速0.1m/s～3m/sで清水を流し、試験体前後の圧力損失を測定する。
- 継手を接続した試験体の圧力損失から配管のみの圧力損失を減じて、継手のみの圧力損失を算出する。
- 継手の圧力損失は $\Delta P = \eta \times \rho \times V^2 \div 2$ (=抵抗係数×密度×速度²⁾)で表すことができるため、継手のみの圧力損失を $\Delta P = A \times V^2$ で近似する。

- ・ 近似式から係数 A を算出する。
- ・ 係数 A を清水の流体密度 ($\rho=1,000\text{kg/m}^3$) と継手個数で除して、継手の抵抗係数を算出した。

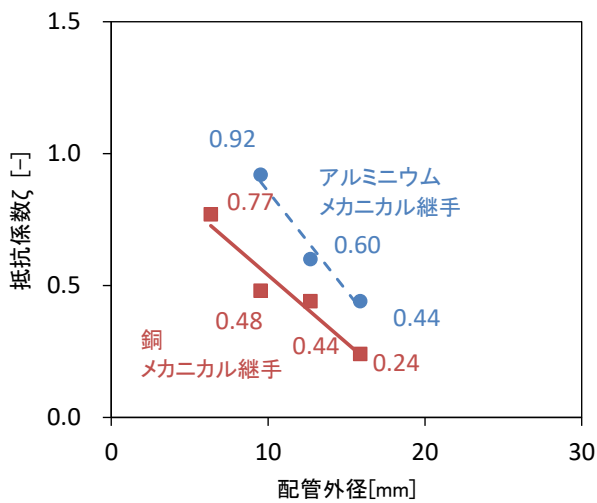


図5 継手の抵抗係数

銅とアルミニウム継手の抵抗係数を図5に示す。銅とアルミニウムともに抵抗係数は、配管径が小さいほど大きく、配管径が大きくなるにつれて小さくなる。銅とアルミニウムのメカニカル継手を比較するとアルミニウムの方が銅よりも抵抗係数が大きい。

(2) 継手の圧力損失

区間ごとに算出した流速と抵抗係数を用いて $\Delta P = \eta \times \rho \times V^2 \div 2$ (=抵抗係数×密度×速度²) より継手の圧力損失を算出した。

4.3. 分岐曲がり

分岐や曲がりの相当長はメーカーの技術資料から知ることができる。例えば、分岐管の相当長は0.5mである³⁾。相当長は $L = \zeta \times d \div \lambda$ (相当長=抵抗係数×配管内径÷管摩擦係数) である。本研究では、分岐と曲がりの抵抗係数は相当長から逆算し、分岐と曲がりの圧力損失を算出した。

4.4. 系統ごとの圧力損失

算出した系統ごとの圧力損失を図6に示す。各系統ともに配管の圧力損失が多くを占める。銅系統とアルミニウム②系統の圧力損失は、ほぼ同じである。一方で、アルミニウム①系統の圧力損失は、銅系統の1.8倍である。

圧力損失は、速度の二乗に比例する。一方で、暖房能力は速度に比例する。このため、暖房能力は圧力損失の比率の平方根に比例すると考えられる。

銅系統とアルミニウム①系統の圧力損失の比率1.8の平方根を算出すると約1.3である。銅系統は、アルミニウム②系統の1.2倍の暖房能力であり、両者の値はほぼ同じである。配管系の圧力損失から暖房能力が

把握可能なことが示唆される。

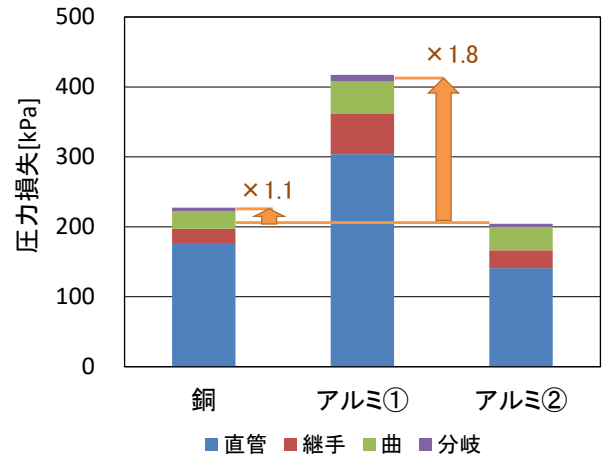


図6 配管系の圧力損失

5. まとめ

アルミニウムは銅に比べて強度が劣るため、同一外径で配管設計を行うとアルミニウム配管は肉厚となる。本研究では、銅配管と同一外径でアルミニウム配管を施工した場合と液管のみをワンサイズアップして施工した場合の暖房能力を比較した。

- ・ アルミニウム配管を銅配管と同じ外径で施工するとアルミニウム配管の暖房能力は、銅配管の暖房能力よりも20%程度低下する。
- ・ 液管のみをワンサイズアップするなどの措置を取り、銅配管と同等の圧力損失となるように配管設計すると、アルミニウム配管による施工でも銅配管と同等の暖房能力を得られる。

参考文献

- 1) 日本冷凍空調学会熱力表 第2巻 R410A 第1版、日本冷凍空調学会冷媒技術分科会編、2008
- 2) 木内ら、ビルマルチエアコンの冷媒配管研究・その4、第29回空調和・冷凍連合講演会講演論文集、1995
- 3) 例えば、設備設計資料、ダイキン工業株式会社