

アルミニウム冷媒配管工法 「アルミンジャー工法」

Work method of refrigerant piping using aluminum piping 「Aluminger work method」

三機工業株式会社 R&D センター
SANKI Engineering Co., Ltd R&D Center
内山 聖士
Seiji Uchiyama

キーワード：アルミニウム (Aluminum)、冷媒配管 (Refrigerant piping)、工法 (Work method)
空冷ヒートポンプ (Air source heat pump)、メカニカル継手 (Mechanical joint)

1. はじめに

建設業の就業者数は平成 9 年の 685 万人をピークとして年々減少しており、平成 28 年の就業者数は 492 万人である。また、現状の就業者の年齢構成は 60 歳以上の就業者数の占める割合が多く、若年層の占める割合が少ない¹⁾。このため 10 年後は就業者の質、量ともに不足することが危惧されている。建築設備工事においても同様の傾向であり、今後は熟練作業員が減少する中で施工品質の維持と向上を行う必要がある。

一方で、中小事務所ビルでは大手デベロッパーの空調標準がヒートポンプ型パッケージ空調方式とされるなど、今後パッケージ方式の空調は更に需要が増加すると予想される。冷凍空調工業会の調査によればパッケージ方式のエアコンの出荷台数は、年々増加している。近年のビルマルチの出荷台数は 13 万台である²⁾。

そこで、これまで冷媒配管には用いられてこなかった軽量で安価なアルミニウムに着目し、アルミニウム冷媒配管工法を開発した³⁾。

開発したアルミニウム冷媒配管工法「アルミンジャー™工法」は基本的には銅による冷媒配管工法と同様の施工を行う。吊り部材、立て管固定金物、保温材、保温材保護プレート、その他保温用テープなど、多くは既存品を使用する。アルミンジャー工法に固有の部材は、冷媒用被覆アルミニウム配管、アルミニウムメカニカル継手である。

アルミニウムと銅の質量を比較するとアルミニウムの質量が 2.7ton/m^3 に対して銅の質量は 8.9ton/m^3 であり、アルミニウムの方が銅に比べて軽量である。一方で強度はアルミニウムの引張強さが 105N/mm^2 に対して銅の引張強さは 205N/mm^2 であり⁴⁾、アルミニウムの方が銅よりも強度が劣る。アルミニウム製の冷媒配管において銅製の配管と同様の強度を得るためには、肉厚を変更するなどの処置が必要である。

また、継手は ISO14903⁵⁾ で示された性能基準を満たす必要がある。本報では、冷媒配管に係わる法規や継手に求められる性能を述べるとともに採用したアルミ冷媒配管の材質や管厚、開発したメカニカル継手の性能と施工方法について述べる。

2. 配管に係わる規定

事務所ビルや店舗のヒートポンプ型パッケージ空調方式の冷媒は、冷媒 R410A と冷媒 R32 が使用されることが多い。これらの冷媒は、高圧ガス保安法で定義されている高圧ガスである。これらの冷媒を法定冷凍トンが 5 トン未満で使用する場合には高圧ガス保安法の適用場外となるが、事務所ビルなどで使用する際には法定冷凍トン 5 トンを超えることが予想される。このため、アルミニウム冷媒配管を銅冷媒配管と同様に用いるためには、高圧ガス保安法の規定に従った配管が必要となる。

(1) 冷凍保安規則

冷凍保安規則では、高圧ガスに係わる技術基準や、都道府県知事に対する許可・届出等を規定している。さらに冷凍保安規則では、『経済産業省が定める技術的基準』に従うことと規定されており、経済産業省からは、冷凍保安規則関係例示基準（以下：例示基準）が制定されている。例示基準には使用材料や管の最

小厚さなどの具体的な性能基準が例示されている⁶⁾。

(2) 使用材料

使用材料は、例示基準の20.冷媒設備に用いる材料に規定される。例示基準の20.1 (3) (c) には、フルオロカーボンに対しては2 %を超えるMg (マグネシウム) を含有したアルミニウム合金は使用してはならないとある。マグネシウムの含有量に関しては、R410AとR32のSDSにも記述があり、アルミニウム合金のマグネシウム含有量が高い場合は、腐食を生ずるようである。また例示基準の20.1 (5) には、耐圧部分に使用する材料は、日本工業規格に適合する材料と規定されている⁴⁾。

(3) 管の最小厚さ

配管の最小厚さは、例示基準 23.11.1 で規定される。この規定は、5つの項目で構成されている。冷媒配管に係わる規定は①内面に圧力を受ける配管、②曲げ加工をする配管、③配管の腐れしろの3項目である。内面に圧力を受ける配管では、管の最小厚さは例示基準 23.6.1 に示される式 (1) により算出する。式 (1) は曲げ半径が管の外径の4倍以上の規定である。曲げ加工をする配管で曲げ半径が管の外径の4倍未満の場合には、式 (2) を用いる。

$$t = \frac{PD_0}{2\sigma_a\eta + 0.8P} \dots\dots(1)$$

$$t = \frac{PD_0}{2\sigma_a\eta + 0.8P} \left(1 + \frac{D_0}{4R}\right) \dots\dots(2)$$

ここで

- t : 管の最小厚さ (mm)
- P : 設計圧力 (MPa)
- D₀ : 管の外径 (mm)
- σ_a : 材料の許容応力度 (N/mm²)
- η : 溶接効率
- R : 管の中心線における曲げ半径 (mm)

式(1)中の最高使用圧力は、冷媒用銅管と同じとするのが良いと考える。冷媒用銅管は JIS B8607 冷媒用フレア及びろう付け管継手の付属書で規定された寸法により製造されている。JIS B8607 では冷媒の種類や最高使用圧力を規定しており、R410A、R32などはJIS B8607で第二種冷媒と規定される。最高使用圧力は、4.3MPaである。材料の許容引張応力は、経済産業省が制定している特定設備の技術基準の解釈に記載された別表第1を参照する。別表第1では、温度ごとに許容引張応力が記されている。腐れしろの規定では、例示基準 23.6 に示されるように、ねじのない管でアルミニウム又はアルミニウム合金を使用する場合には式 (1) または式 (2) で算出した管の最小厚さに 0.2mm の腐れしろを加える。腐れしろは JIS B8240 冷凍用圧力容器の構造を根拠としているようである。アルミニウム及びアルミニウム合金管の腐れしろ 0.2mm は腐食環境条件に対応する値で厳しい条件である。この条件では材料の外表面が直接風雨にさらされることを想定している。

3. アルミニウム冷媒配管

(1) アルミニウム合金

アルミニウム及びアルミニウム合金展伸材の JIS 規格は JIS H4000、JIS H4001、JIS H4040、JIS H4080、JIS H4090、JIS H4100、JIS H4140、JIS Z3232 と多数ある。この内、例示基準で認めているアルミニウム合金の規格は、JIS H4000 アルミニウム及びアルミニウム合金の板及び条 (条とは、厚さ 0.2mm 以上 6mm 以下で断面が長方形の圧延材である。) と JIS H4080 アルミニウム及びアルミニウム合金継目無管のみである。アルミニウム合金は、合金番号 1000 番台から合金番号 7000 番台がある。合金番号 1000 番台は、99.90%以上がアルミニウムの合金 (純アルミニウム) である。この合金番号は加工性、耐食性、溶接性に優れているが、他の合金番号と比較すると強度が低いいため、強度を要しない家庭用品、日用品、電気器具に用いられる。アルミニウム合金は、純アルミニウムに種々の元素を添加して、合金番号ごとに耐食

性、強度、加工性に特色を持たせている。合金番号 1000 番台から合金番号 7000 番台の特色を表 1 に示す。表 1 には代表的な合金番号、JIS 規格番号、Mg 含有量、用途を示した。

表 1 アルミニウム合金

合金番号	合金系統	代表的な合金番号	JIS規格番号	Mg含有量 %	主な用途	冷媒配管としての適否	備考
1000系	純アルミ	1070	JIS H4080	0.03	強度を要しない家庭用品、日用品、電気器具に用いられる。	△	強度に難あり
2000系	Al-Cu系	2017	JIS H4080	0.4~0.8	超ジュラルミン、銅を多く含むため他の合金比べて耐食性が劣る。	△	耐食性に難あり
3000系	Al-Mn系	3003	JIS H4080	—	カーエアコンの配管で使用される。	○	—
4000系	Al-Si系	4032	JIS H4140	0.8~1.3	ビル建築の外装材に使用される。	×	規定JIS規格以外の材料
5000系	Al-Mg系	5083	JIS H4080	4.0~4.9	船舶、車両、化学プラントなどで使用される。	×	Mg2%以上
6000系	Al-Mg-Si系	6063	JIS H4080	0.45~0.9	建築用材、土木用材、電気機器部品、導体などに使用される。	○	—
7000系	Al-Zn-Mg系	7N01	JIS H4080	1.0~2.0	溶接構造用材料として、鉄道車両などに使用される。	×	Mg2%以上となる場合がある。
	Al-Zn-Mg-Cu系	7075	JIS H4080	2.1~2.9	航空機、スポーツ用品に使用される。アルミニウム合金の中で最も高い強度である。	×	Mg2%以上

※アルミポケットハンドブック⁷⁾、JISハンドブック③非鉄 2018⁸⁾より筆者が作成

これまで述べた Mg (マグネシウム) 含有量 2% の規定、JIS 規格番号 (JIS H4000、JIS H4080 のみ使用可能) の規定からアルミニウム冷媒配管に採用可能な合金番号は、合金番号 1000 番台、合金番号 2000 番台、合金番号 3000 番台、合金番号 6000 番台である。さらに、強度や耐食性を考慮すると、アルミニウム冷媒配管に採用可能なアルミニウム合金は、合金番号 3000 番台、合金番号 6000 番台となる。合金番号 3000 番台は、Mn (マンガン) の添加により純アルミニウムの加工性・耐食性を低下させることなく、強度を増加させた合金である。カーエアコンの配管では、3003 が用いられる。合金番号 6000 番台は、Mg (マグネシウム)、Si (珪素) を添加した合金であり、強度、耐食性ともに良好な合金である。建築用材、土木用材、電気機器部品、導体などに使用されている。合金番号 6063-T83 の耐力は 205N/mm² であり、SS330 鋼と同等の耐力である。T83 などのアルミニウム合金番号以降に付記された記号は、質別を表す。質別とは、製造過程における加工、熱処理条件の違いによって得られた機械的性質の区分をいう。質別 F は製造のままのもの、質別 O は焼きなまししたもの、質別 H は加工硬化したもの、質別 T は熱処理によって F、O、H 以外の安定な質別にしたものである。

JIS H4080 の質別に着目すると、合金番号 3003 ではコイル管で用いられる質別 O がある。合金番号 3003-O の引張強さは、95 N/mm² 以上 125 N/mm² 以下である。合金番号 6063 は JIS 規格には質別 O があるものの製造されておらず、熱処理した質別 T が製造販売されている。合金番号 6063-T6 や 6063-T83 の引張強さは 225N/mm² 以上である。(冷媒用銅管の引張強さは、C1220-O では 205 N/mm² 以上であり、C1220-1/2H では 245~325 N/mm² である。)

(2) 採用した配管の管厚

例示基準に従ったアルミニウム冷媒配管の管厚の一例を表 1 に示す。表 1 には配管の外径ごとの管厚を示した。表中の銅管の管厚は JIS B8607 で規格化された冷媒用銅配管の管厚である。

アルミニウム冷媒配管の管厚は、配管の曲げ半径を 4R 以上とし、例示基準 23.6.1 の式により算出した。

配管外径 6.35φ～15.88φまでは配管をコイル管とすべく合金番号は 3003-O とした。配管外径 19.05φ～38.10φは直管とし合金番号は 6063-T83 とした。

配管の設計圧力は、4.3MPa とした。材料の引張許容応力は従来の管と同じく配管の最高使用温度は 120℃とした。特定設備の技術基準の解釈に記載された別表第 1 からは 125℃の値を採用し、合金番号 3003-O では 125℃の引張許容応力 20 N/mm²とし、合金番号 6063-T6 の 49 N/mm²とした。

ところで、別表第 1 には 6063-T6 の許容引張応力は示されているが、6063-T83 の許容引張応力は示されていない。しかし、前述の通り JIS H4080 における 6063-T6 と 6063-T83 の機械的性質（引張強さ）は同じであるため、配管肉厚の算定においては T83 の代わりに T6 を使用しても差し障りはないと考える。なお、合金番号 6063-T6 の引抜管は真円を保つのが難しいため管材として製造販売されてなく、合金番号 6063-T83 の引抜管が製造販売されている。

アルミニウム配管と既存の銅配管を比較すると、アルミニウム配管は銅配管に比べていずれのサイズも管厚が厚くなる。しかしながら、厚さ 10mm の保温材を含んだ単位長さあたりの重量を比較すると、アルミニウム配管は銅配管の約 50%の重量であり軽量である。

表 2 アルミニウム冷媒配管と銅冷媒配管の比較

外径	アルミニウム			銅		
	材質-質別	肉厚	重量	材質-質別	肉厚	重量
	-	mm	g/m	-	mm	g/m
6.35	A3003-O	0.85	58	C1220-O	0.80	124
9.52	A3003-O	1.15	102	C1220-O	0.80	195
12.70	A3003-O	1.50	203	C1220-O	0.80	266
15.88	A3003-O	1.80	292	C1220-O	1.00	416
19.05	A6063-T83	1.05	296	C1220-1/2H	1.00	640
22.22	A6063-T83	1.15	352	C1220-1/2H	1.00	740
25.40	A6063-T83	1.30	414	C1220-1/2H	1.00	830
28.58	A6063-T83	1.45	493	C1220-1/2H	1.00	930
31.75	A6063-T83	1.55	647	C1220-1/2H	1.10	1193
38.10	A6063-T83	1.85	902	C1220-1/2H	1.35	1720

4. アルミ冷媒配管用メカニカル継手

(1) 継手への要求性能

ISO14903 Refrigerating systems and heat pumps では冷凍システム及びヒートポンプにおいて使用される密閉及び密閉コンポーネントの型式認定における試験内容を規定している。例えば同一材料でろう付けを行ったコンポーネントでは気密試験のみが求められる。異種の材料によりろう付けを行ったコンポーネントでは、気密試験と PTV 試験（圧力・温度・振動の複合試験）が求められる。管と継手の接合後に取り外し可能な非永久継手では圧力試験や疲労試験は求められず、試験項目は 6 項目である。一方で管と継手の接合後に取り外しが不可能な永久継手で材質が非金属の場合には耐圧試験や疲労試験などの他に材料の化学的適合性の試験項目が求められ、試験項目は 7 項目である。永久継手においても、継手の構成材料が金属の場合は材料との化学的適合性の試験は不要となり、試験項目は 6 項である。

ISO14903 の試験項目を表 3 に示す。表中の試験内容は永久継手で継手材質が金属の場合である。気密試験は 35℃以上の水中に浸漬し、最高使用圧力（4.3MPa）の窒素ガスを封入し 60 秒以上漏れがないことを

確認する。PTV 試験は、振動と圧力温度を統合した場合と振動を切り離した場合の 2 つの方法がある。統合した場合には高温・高圧（145℃、4.3MPa）と低温・低圧（-50℃、大気圧）のサイクルを 50 サイクル実施する。振動を切り離した場合は、温度を 145℃の一定とし、高圧と低圧（4.3MPa、大気圧）のサイクルを 200 サイクル実施する。凍結試験は、凍結、解氷を 30 回繰り返す。真空試験は絶対圧力 6.5kPa を 1 時間保持する。耐圧試験は最高使用圧力の 6 倍の試験圧力で実施する。試験圧力は 25.8MPa(=4.3MPa×6) である。疲労試験は 1 分間に 20～60 サイクルで大気圧と設計圧力（4.3MPa）を 25 万サイクル繰り返す。気密試験、耐圧試験以外は、各試験実施後に気密試験により正否を確認する。

表 3：ISO14903 永久継手（継手の構成材料が金属の場合）の試験

No.	試験項目	試験内容	判定基準
1	気密試験	35℃以上の水中に浸漬し、窒素ガス4.3MPaを封入する。	製品からの気泡の離脱間隔が60秒以上であること。
2	PTV試験 (圧力・温度・ 振動試験)	①高温・高圧 ⇄ 低温・低圧サイクル試験 145℃×窒素ガス4.3MPa ⇄ -50℃×大気圧 50サイクル実施 ②高温一定、高圧 ⇄ 低圧サイクル試験 145℃一定 窒素ガス4.3MPa ⇄ 大気圧 200サイクル実施 ③振動試験 管外径ごとに定められた所定変位にて、 200Hz以下×200万回振動を加える。	試験後に気密試験を行い、漏れが無いこと。
3	凍結試験	所定の条件にて継手と管のすき間に水を満たし「凍結 ⇄ 解氷」を30回繰り返す。	試験後に気密試験を行い、漏れが無いこと。
4	真空試験	絶対圧力6.5kPa×1時間保持する。	圧力上昇が0.02kPaであること。 試験後に気密試験を行い、漏れが無いこと。
5	耐圧試験	水圧ポンプにて設計圧(4.3MPa)の6倍、25.8MPaを掛け、1分間保持する。	試験後に気密試験を行い、漏れが無いこと。
6	疲労試験	大気圧 ⇄ 水圧4.3MPa 20～60サイクル/分 25万サイクル	試験後に気密試験を行い、漏れが無いこと。

(2) 開発したメカニカル継手

開発したメカニカル継手は、継手本体、インサート、ナットから構成される。既往の海外のアルミ冷媒配管用メカニカル継手は鋳鉄製の継手本体、真鍮製のインサート、ナットが別々となっているのに対し、開発したメカニカル継手では、インサートとナットは誤接続や建築設備の現場での紛失防止、作業時間短縮の目的で予め継手本体にセットされている。継手の部材は配管の 225 N/mm² よりも引張強さが 295 N/mm² と高いアルミニウム合金 6061-T6 で全て構成されている。ナットには絞り加工がされており、継手のインサート内に配管を差込んだ状態で、専用の油圧工具により 図 1 のようにナットを継手本体に押し込むとインサートと継手本体に挟まれた配管は、ナットの絞り形状に沿って塑性変形する。この塑性変形が継手から配管が抜け落ちるのを防ぎ、気密性を確保する。継手は 9.52φ～38.1φ の 9 サイズがある。継手は前述の ISO14903 に準拠した試験を行い、判定基準を満足している。

また、この継手は、アルミニウム配管同士の接合のみならず、継手内部のインサートの外径サイズを変えることでアルミニウム配管と銅配管の接合も可能である。銅配管用のインサートの方が、アルミニウム用のインサートに比べて外径が大きい。継手は全ての部材がプリセット化された状態で出荷されるため、銅とアルミニウムの誤接続を生じないように、銅配管を接続するナットは、アルマイト処理により黒色に着色されている。アルミニウムと銅は電極電位が異なり、異種金属の接触部分に溶存酸素と水が介在すると腐食が生ずる。このためアルミニウム配管と銅配管を接合した場合には、接合箇所にも熱収縮チューブなどを施し水が介在しないようにして腐食を抑制する。

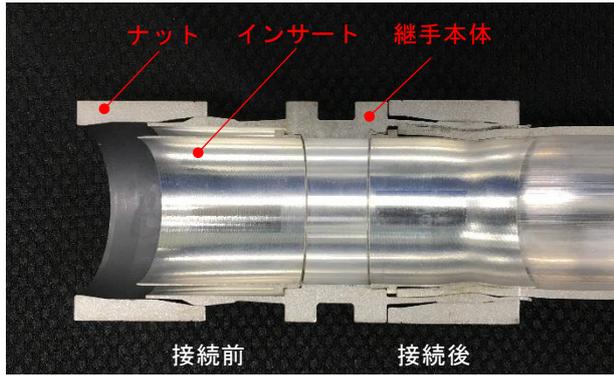


図1 継手の内部構造



図3 アルミ銅接続メカ継手

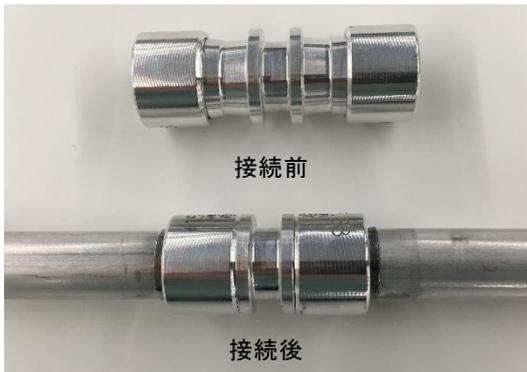


図2 アルミ冷媒配管用メカ



図4 熱収縮チューブによる被覆

(3) メカニカル継手の施工方法

開発したメカニカル継手は、次の手順で施工する。(i) 配管の切断後、リーマーにより配管のバリを取る (ii) 配管の呑み込み代を確認するためにマーキングを行う (iii) シールのために継手内側に接着剤を塗布する (iv) 継手に配管を差し込む (v) 専用の油圧工具によるナットを加締める。保温施工は、配管に被覆されている保温材を継手に被せ、保温材の切断部分を強粘着テープで張り合わせる方法で行う。



(i) 配管のバリ取り



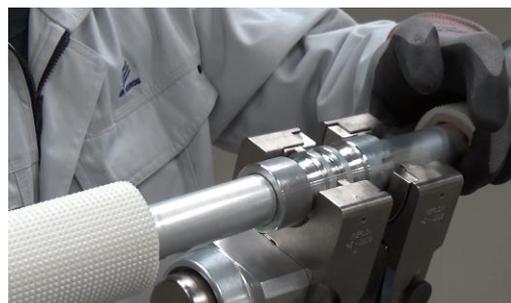
(ii) マーキング



(iii) 接着剤の塗布



(iv) 継手の差込み



(v) 専用工具による加締め

図5 配管の施工手順

5. 事務所ビルにおける施工性の検証

検証は神奈川県大和市にある 4 階建ての事務所ビルで行った。検証の対象とした床置形空冷ヒートポンプの冷房能力は 50kW、暖房能力は 56kW である。対象機の室外機は 2 台であるのに対して室内機は 1 台である。室内機内には熱交換器が 2 機あり、接続する配管は 2 系統ある。配管の外径はガス管が 25.4φ であり、液管が 12.7φ である。1 系統あたりの配管長さは 75m であり、室内機と室外機の高低差は 12.1m である。検証では 1 系統を銅冷媒配管とし、もう 1 系統をアルミニウム冷媒配管とし、それぞれの系統で継手の接続個数を 26 個（ガス管で 13 個、液管で 13 個）として施工時間を計測した。銅冷媒配管はメカニカル継手で施工した。

アルミニウム冷媒配管の配管施工時間が 2 時間

49 分に対して銅冷媒配管は 3 時間 20 分であった。配管作業では約 15% の短縮が図れた。また、施工が困難と考えられるシャフト内において銅冷媒配管とアルミニウム冷媒配管の継手片側の接合時間を計測したところ、銅冷媒配管が 1 分 19 秒（25.4φ 55 秒、12.7φ 24 秒）に対してアルミニウム冷媒配管は 33 秒（25.4φ 18 秒、12.7φ 15 秒）であった。銅冷媒配管は配管サイズが大きいほど継手の接合に時間を要した。アルミニウム冷媒配管は配管サイズに関係なく継手の接合時間は 20 秒程度であった。

銅冷媒配管の保温施工時間は 1 時間 59 分であったのに対してアルミニウム冷媒配管の保温施工時間は 1 時間 16 分であった。保温施工時間は 36% の時間短縮が図れた。

配管工事と保温工事を合わせた施工時間の比較を図 6 に示す。アルミニウム冷媒配管の合計は 4 時間 5 分であり、銅冷媒配管の合計は 5 時間 19 分であった。配管工事と保温工事を合わせて約 25% の施工省力化が図れた。

6. まとめ

軽量で運搬性に富むアルミニウム冷媒配管と専用工具により簡易に施工が可能なアルミニウム冷媒用メカニカル継手は、従来の銅冷媒配管の施工よりも少ない労力で、高い品質を確保できることから、建設業が抱える人手不足の解消の一助となると考えられる。本報で記したように、合金番号や質別によって特性が異なるため、使用に際しては、材料の特性を十分に把握し、材料にあった加工や施工を行うべきと考える。今後、アルミニウム冷媒配管工法が、普及することを期待するものである。

<参考文献>

- 1) 国土交通省、建設業を取り巻く情勢・変化 参考資料、<https://www.mlit.go.jp/common/001121700.pdf>
- 2) 日本冷凍空調工業会、https://www.jraia.or.jp/statistic/s_com_aircon.html
- 3) 内山ほか、アルミニウム配管を用いた冷媒配管施工の実験的研究、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2017.9
- 4) 理科年表、国立天文台、2008
- 5) ISO14903 Refrigerating systems and heat pumps- Qualification of tightness of components and joints 2012
- 6) 高圧ガス保安法に基づく冷凍関係法規集、日本冷凍空調学会、2014
- 7) アルミポケットハンドブック、株式会社UACJ、2016
- 8) JISハンドブック 3 非鉄、日本規格協会、2018

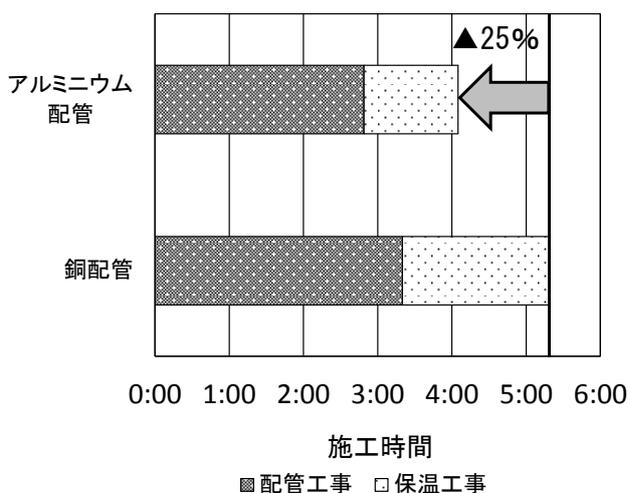


図 6 施工時間の比較