

二相搬送システムを用いた 省冷媒パッケージエアコンの開発

Development of Packaged Air Conditioner
with Two-Phase Pipeline System for Reduced Refrigerant

エアコン製作所 小林 隆 之*¹
技術本部 平 尾 豊 隆*²

HCFC の 2020 年全廃に向け、1996 年から総量規制が開始される。当社のセゾンパッケージエアコンでは、省冷媒化を目的に室外ユニットと室内ユニット間の液配管内を二相流（液・ガス）の冷媒にて搬送するシステムを開発した。本システムにより液単相流で搬送していた従来機に比べ液配管内の冷媒量を 42～77 %削減した。また液配管部を二相流とすることで高低ヘッド差の大きい状態でも能力低下の少ないパッケージエアコンを開発した。

Reduced production of HCFCs is due to start from 1996 aiming at phasing them out by 2020. We have developed a system for use in packaged air conditioners in which refrigerant flows in two phases (the liquid & gas phases) in a interconnecting pipe. As a result, the amount of refrigerant in the system is reduced by 42～77 % when compared with a conventional system in which refrigerant flows in the liquid phase instead of two phases. Furthermore, it shows a lower drop in performance in the case of a high-head installation.

1. ま え が き

HCFC (Hydro Chloro Fluoro Carbon) の 2020 年全廃に向け代替冷媒の研究も進み、現在ではパッケージエアコン用として有力視されている代替冷媒でのユニット試験結果も盛んに報告されるようになった。

しかし一方で HCFC の総量規制は 1996 年から始まり、環境保護に対するメーカーの取組みとして、現在使用している HCFC の使用量を削減していく必要がある。セゾンパッケージエアコンでは、室内機～室外機間の液配管内の冷媒を液単相状態で搬送する従来のシステム（以下、液搬送システムと称する）から液・ガス二相状態で搬送するシステム（以下、二相搬送システムと称する）に変更することで省冷媒化を行い、平成 6 年から販売している。

二相搬送化による最大メリットは前述のとおり省冷媒であるが、そのほかにも室内機と室外機との高低ヘッド差による影響を受けにくく、液搬送システムよりも高低ヘッド差を大きく取ることができる。筆者らは三菱重工横浜ビルにて液搬送システムのユニットと二相搬送システムのユニットとの比較試験を行い、液搬送システムに対する二相搬送システムの優位性を確認した。

本報では、二相搬送システムの開発における技術課題への対応策と、液搬送システムとの比較試験の結果について報告する。

2. 二相搬送システムについて

2. 1 従来の液搬送システムの問題点

ルームエアコンやパッケージエアコンに代表される空気熱源ヒートポンプは、蒸気圧縮式冷凍サイクルを用いている。蒸気圧縮式冷凍サイクルは主に、圧縮機、凝縮機、絞り膨張機構（キャピラリチューブなど）及び蒸発器から構成される。各コンポーネントは配管で接続され、冷媒が閉ループを循環して作動する。室内ユニット、室外ユニットそれぞれに熱交換器が配置されており、冷房運転では室内ユニットが蒸発器に、暖房運転では凝縮器にな

るように配管システムを切換えて運転する。研究の対象とするのは室内ユニットと室外ユニットの設置場所が離れているこのタイプのセバレート型空調システムである。

このような空調システムでは一般に圧損による能力低下を防ぐため配管内を液で搬送する。このため配管長に対して必要冷媒量が増加し、機種によっては 50 m 配管で配管に占める冷媒量が 60 %以上になるものもある。充てん冷媒量の低減は製品コストを低下させるだけでなく、環境問題からも近年最重要課題となっている。

また図 1 に示すように室内ユニットと室外ユニットの設置場所に高低差がある場合、暖房運転では凝縮器（室内ユニット）を出た液冷媒が蒸発器（室外ユニット）へ搬送されるが、液配管において高低ヘッド差による圧力損失を受ける。このため室外ユニットに位置するキャピラリチューブに流入する冷媒は圧力低下、過

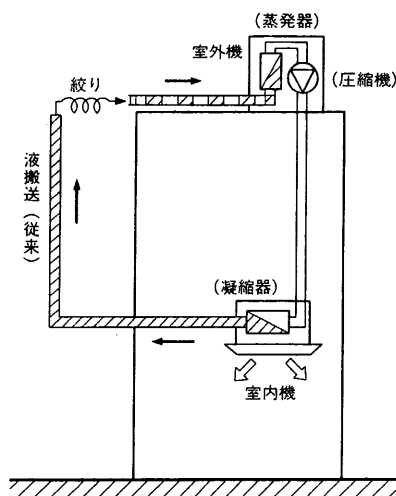


図1 高低差のある設置条件 液配管は
高低ヘッド差による位置損失を受ける。
Typical placement with high head

*1 技術部店舗用エアコングループ

*2 名古屋研究所冷熱システム研究室

冷却度の低下（場合により気液二相流で流入）を招く。ここで絞り膨張機構のキャピラリチューブは入口圧力、入口過冷却度の低下（入口乾き度の増加）により流量が減少する特性がある。このため高低ヘッド差により循環冷媒流量が減少し、暖房能力が低下する問題がある。

これらの液搬送システムの問題点を解消するため、配管内の冷媒を気液二相状態にして搬送する二相搬送システムを検討した。

2.2 二相搬送システム

二相搬送システムは以下のシステムである。

- (1) 暖房時、室内熱交換器（凝縮器）後流のキャピラリチューブ出口に接続配管があり、配管内は絞り膨張された気液二相の冷媒が搬送される。
- (2) 冷房時、室外熱交換器（凝縮器）後流のキャピラリチューブ出口に接続配管があり、配管内は絞り膨張された気液二相の冷媒が搬送される。

効果として

- (1) 配管内の平均冷媒密度の低下により充てん冷媒量が低減される。
 - (2) 高低差による位置損失の影響が低減される。
- が挙げられる。

この二相搬送システムを製品に適用するための技術課題は、

- (1) 蒸発器の各サーキットへの均質な冷媒分配技術。
 - (2) 流量低下しない絞りと配管の選定法。
- が挙げられ、これらの対応策については次章で説明する。

3. 技術課題と対応策

3.1 冷媒分配技術

二相搬送システムにおける液配管内の流動形態は、Mandhaneらの流動様式線図から、気相と液相とが分離して流れるスラグ流と推定できる。

したがって二相搬送システムの冷媒回路において、室外機に室内機が複数台接続される場合の液配管分岐部（又は、蒸発器入口の各サーキットへの分岐部）に、従来の分配器にて冷媒分配を行うと各室内機（又は各サーキット）に均質な冷媒を分配できず能力のアンバランスを生じる原因となるため、二相搬送システム用の分配器の開発を行った。

図2、3は本開発において比較、検討を行った二相搬送システム用の分配器である。

図2は気相と液相とを分離させ、それぞれ単相状態の冷媒にて各サーキットに分配し、均等分配された両相の冷媒を各サーキットごとに合流させて二相流の分配を行うタイプである。

図3はスラグ流状態にある二相流をオリフィスで絞り、両相が均質に分布している二相流にて分配を行うタイプである。

試験の結果、両方のタイプとも二相流冷媒の均等分配に有効であったが、コスト面で優位な図3のタイプにて商品化を行った。

3.2 絞りと配管の選定法

二相搬送システムでは配管抵抗が増大するためキャピラリチューブ流量が減少し空調機的能力低下が懸念される。そこで二相搬送時の配管圧損を考慮したキャピラリチューブ流量の解析を行い、空調機的能力低下を最小限に抑えたシステムを検討した⁽¹⁾。

(1) 解析手法

キャピラリチューブと配管の接合部はキャピラリチューブ後において十分に拡大されていると仮定し、接合部入口、出口は急縮小、急拡大するため独立に基礎式が成立するとした。また

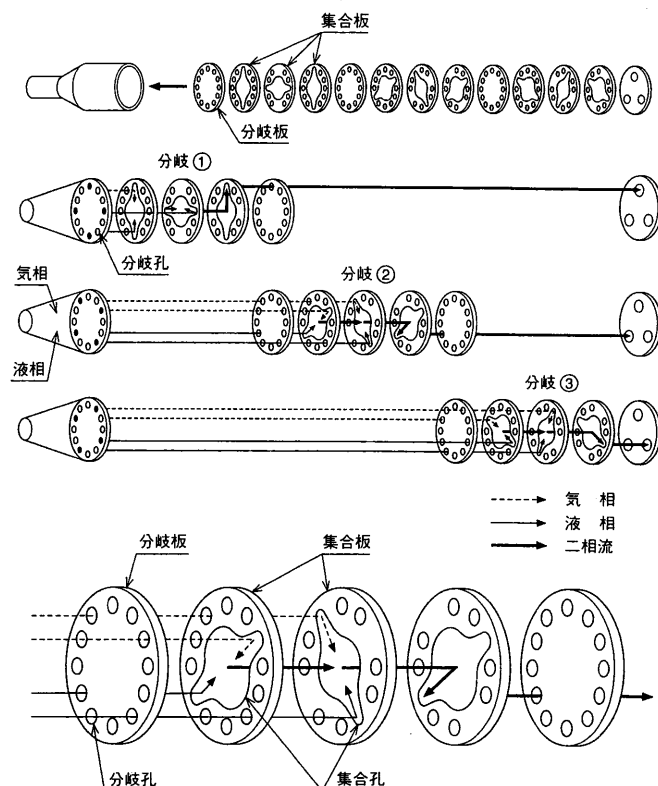


図2 多孔板積層形分配器 気相と液相とを分離させ、それぞれ単相状態の冷媒にて各サーキットに分配し、均等分配された両相の冷媒を各サーキットに合流させて二相流の分配を行う分配器。
Distributor by piled plates which have many holes

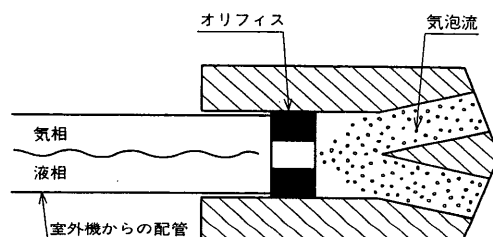


図3 オリフィス形分配器 スラグ流状態にある二相流をオリフィスで絞り、両相が均質に分布している二相流にて分配を行う分配器。
Distributor by orifice

配管部においてもキャピラリチューブ二相流れの式を用いて解析した。

与えたキャピラリチューブ入口条件、配管出口条件に対してキャピラリチューブと配管の接合部の中間圧力をパラメータとして、上流側のキャピラリチューブ流量と下流側の配管流量をそれぞれ独立に解き、キャピラリチューブ流量と配管流量がバランスする点を算出した。

(2) 解析結果

図4に二相搬送時の冷媒流量特性の解析結果と実験結果の一例を示す。横軸に配管長を、縦軸にキャピラリチューブ流量、キャピラリチューブ出口圧力飽和温度、配管圧損を示している。解析条件ではキャピラリチューブ入口条件、配管出口条件が決まっているため、配管長が長くなると配管圧損が増大する分キャピラリチューブ出口圧力は上昇する。このためキャピラリチューブの出口圧力差が少なくなり、キャピラリチューブ流量が減少する。同様に、配管径が細くなるほどキャピラリチューブ出口圧力が上昇するため、キャピラリチューブ流量は低下する。

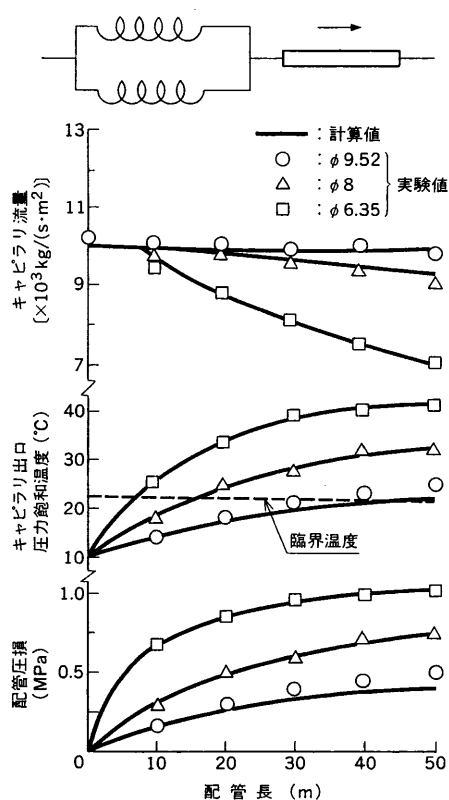


図4 二相搬送システムの流量特性
キャピラリチューブ出口が臨界状態になると流量特性が大きく変わる。
Characteristic of flow rate for two-phase pipeline system

ここでキャピラリチューブ出口圧力が臨界圧力（温度）以下の場合、キャピラリチューブ流量は臨界状態時の流量でチョークし、それ以上キャピラリチューブ出口圧力が低下しても（配管長が短くなっても）、キャピラリチューブ流量は増加しない。

(3) 配管径の検討

配管径を最小にして配管長5mから50mまでの範囲で能力

低下を最小にするシステムとするには、キャピラリチューブ流量が配管の圧損によって流量低下しない配管サイズを選定する必要がある。配管圧損が増加してキャピラリチューブ出口圧力が上昇し、キャピラリチューブの臨界温度を上回ると、図4と示すようにキャピラリチューブ流量は低下するため臨界圧力（温度）が高くなるようにキャピラリチューブを選定する必要がある。

このようにして臨界圧力飽和温度を高くすると、後流に位置する配管径を細くすることが可能となる。このような解析により配管長、配管径が配管圧損、流量特性に及ぼす影響を机上で検討可能であり、冷媒流量を低下させない最小配管径を選定している。

4. 応 用 例

図5は、二相搬送システムを用いた当社のパッケージエアコンの冷媒回路である。ここでは室外ユニット（5馬力クラス）に対し室内ユニット2台を接続した場合を示す。

冷房運転時、室外ユニットの凝縮器にて凝縮された液冷媒は、室外ユニット内のキャピラリAによって減圧され二相流状態となり室内ユニットの蒸発器に搬送される。液配管内の流動形態はスラグ流であるが、分配器Dによって均質な冷媒が各室内ユニットに分配される。

また暖房運転時は、各室内ユニットの凝縮器にて凝縮された液冷媒がそれぞれのキャピラリB、Cによって減圧され、冷房と同様に二相流となる。二相流は分配器Dにて合流し室外ユニットの蒸発器に搬送される。

表1 液配管1m当たりの冷媒量
Additional refrigerant charge amount per 1m

	3馬力	5馬力	8馬力	10馬力
従来機(液搬送システム)	(g) 60	60	200	200
新形機(二相搬送システム)	(g) 25	35	45	70
従来比削減率	(%) 58	42	77	65

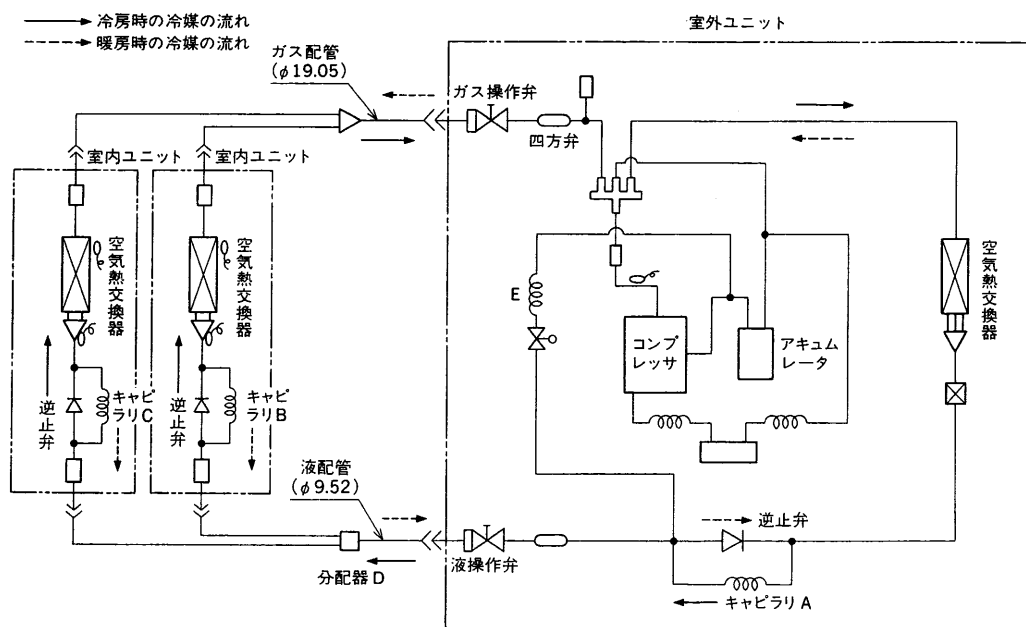


図5 二相搬送システムを用いたパッケージエアコンの冷媒回路
5馬力クラスの室外ユニットに室内ユニットを2台接続した場合の冷媒回路図。
Refrigerant circuit of packaged air conditioner with two-phase pipeline system

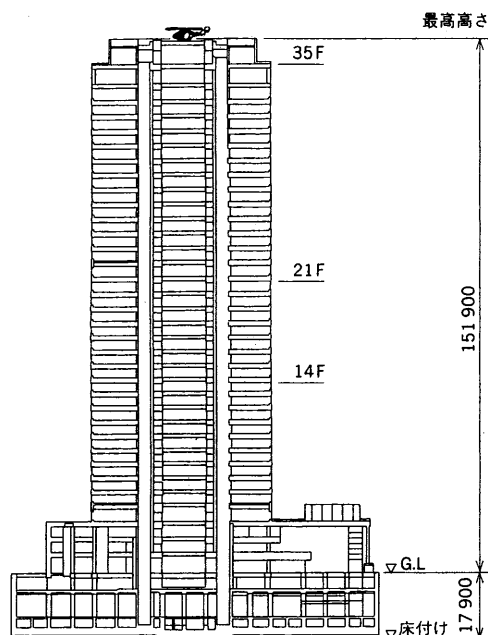


図6 高ヘッド試験 高低ヘッド差85mまで試験可能である。
Experimental apparatus for air conditioning system under high head

室外ユニット内の回路Eは、過負荷条件での運転において圧縮機の吐出温度が上昇した際、吐出温度を下げるために乾き度が低い二相流冷媒を圧縮機の吸入側にバイパスする保護回路である。

表1は、液搬送システムである従来機と二相搬送システムを採用した新形機の液配管1m当たりの冷媒量の比較である。

各馬力ごとに差があるものの、従来機に対し42～77%の液配管内の冷媒量を削減することを達成している。

5. 実証試験

二相搬送システムの実証試験を実施した。使用冷媒量、高ヘッド差時の暖房能力を従来の液搬送システムと比較して報告する。

5.1 試験装置

三菱重工横浜ビルに設置してある高ヘッド試験装置(図6に断面図を示す)を使用して実証試験を行った。この装置は屋上(35階)、21階、14階に6種類の配管径、及び信号線を接続して、供試機に対する高低ヘッド差の影響を調査する設備である。

屋上～21階の高低ヘッド差は55m、屋上～14階は85mであり、21階にある操作弁により高低ヘッド差を切換えることができる。またマルチエアコンでは21階、14階とも使用して室内機間の高低ヘッド差が付いた場合も対応可能である。今回は室外ユニットを屋上に、室内ユニットを21階に設置して試験した。

供試機 3.3馬力

設置条件 配管長 90m

高低ヘッド差 55m

5.2 実験結果

実証試験は配管長90m、高低ヘッド差55mで実施した。この条件は製品スペックの配管長50m、ヘッド差30mを大きくオーバーしており、非常に厳しい条件である。

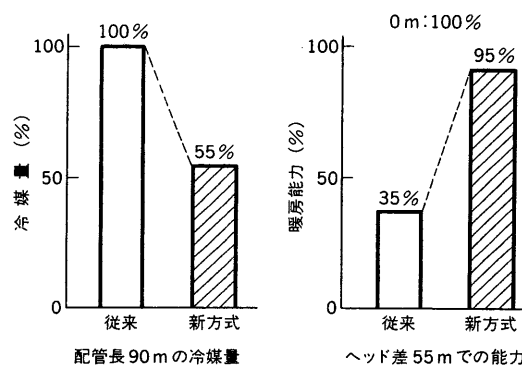


図7 充てん冷媒量、暖房能力の比較 長配管の条件にて、二相搬送システムは冷媒量の低減に非常な効果を発揮する。また高ヘッドによる影響が少なく暖房能力の低下がほとんど見られなかった。
Comparison of amount of refrigerant and heating capacity between two-phase pipeline system and liquid pipeline system

図7に実験結果を示す。二相搬送システムで使用した冷媒量は、従来の液搬送システムに対しては55%であった。これより長配管の場合、二相搬送システムは冷媒量の低減に非常に効果がある結果が得られた。

次に暖房能力の測定結果は、それぞれのシステムの高低ヘッド差がない場合の能力を100%として比較した。この結果から従来の液搬送システムは(配管長、高低ヘッド差がスペックオーバの条件であるが)35%まで能力が低下したのに対して、二相搬送システムではほとんど能力の低下が見られなかった。また冷房時も同様の設置条件で実験したが、こちらは液搬送、二相搬送とも同等の能力が測定されており、システムに問題がない結果が得られている。これにより従来暖房時、問題となっていた高ヘッド空調に対して、二相搬送システムは非常に有効であることが確認できた。

6. まとめ

省冷媒を目的とした二相搬送システムのパッケージエアコンを開発するに当たり、以下の研究結果を反映し商品化を行った。

- (1) 流動形態がスラグ流である二相冷媒を均等分配する分配器を開発し、室内ユニットの複数台接続時の配管分岐部や蒸発器入口の各サーキットへの分岐部に反映した。
- (2) 二相搬送システムにおけるキャピラリ選定法について検討し、液配管部での圧損を考慮したキャピラリ流量解析により、配管長増加による能力低下を最小限に抑えたキャピラリサイズと液配管サイズの選定が行えた。

これにより液配管内の冷媒量を従来比最高77%低減することができた。

また液配管部を二相流とすることで高低ヘッド差の制限を従来よりも拡大するめどが得られた。

参考文献

- (1) 平尾、配管長の影響を加味したキャピラリシステムの流量解析と実験、第27回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集 p. 37～40