

# TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

## Accuracy Verification of the Compressor Curve Method Using an Environmental Test Laboratory

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-09-18 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 松井, 絵美, 亀谷, 茂樹, 島田, 正理, 中曾, 康壽 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/1600">https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/1600</a>

# 67 環境試験室を用いたコンプレッサカーブ法の精度検証

Accuracy Verification of the Compressor Curve Method Using an Environmental Test Laboratory

○空学 松井 絵美 (東京海洋大学)      空冷機正 亀谷 茂樹 (東京海洋大学)  
冷正 島田 正理 (関西電力)      空冷正 中曾 康壽 (関西電力)

Emi MATSUI, Tokyo University of Marine Science and Technology, 4-5-7, Konan, Minato, Tokyo  
Shigeki KAMETANI, Tokyo University of Marine Science and Technology  
Masanori SHIMADA, Kansai Electric Power Co., Inc.  
Yasuhisa NAKASO, Kansai Electric Power Co., Inc.

**Key words:** VRF, Performance Evaluation, Compressor Curve Method, Volumetric Efficiency

## 1. はじめに

近年、高いエネルギー効率やテナントビルでの課金の容易さなどから、個別分散空調機の市場が拡大し、床面積が 10 万 m<sup>2</sup> を超える大規模建物の主システムとしての採用例もある。しかし、同システムは冷媒が直接環境空気と熱交換を行うため、その正確な性能評価をオンサイトでの性能を評価することは非常に困難である。そこで、筆者らはオンサイトでの計測法として、冷媒循環量と室内機での冷媒物理量の変化から空調能力を推定するコンプレッサカーブ法（以後 CC 法と略す）の適応可能性を検討してきた。

空調能力は圧縮機の冷媒流量と室内機のエンタルピ差を積算することで求められるが、一般に圧縮機の流量特性はユーザーサイドには非公開であるため、圧縮機の機械要素、すなわち、体積効率、圧縮機回転数、圧縮機吸入密度、排除容積により算出することを提唱している。

本研究では、上記のパラメータのうち唯一未確定である体積効率について、高精度な環境試験室を用いて求め、従来の固定値を用いた場合と比較して CC 法の精度向上について検討した。

## 2. 研究手法

### 1) CC 法の概要

Fig.1 にモリエル線図を示す。空調能力は式(1)に示す圧縮機の単位時間当たりの冷媒流量と室内機での冷媒エンタルピ差を乗じることで求められる。

$$Q = G_{comp} \times \Delta h \quad (1)$$

Q: 空調能力,  $G_{comp}$ : 冷媒流量,  $\Delta h$ : 比エンタルピ差

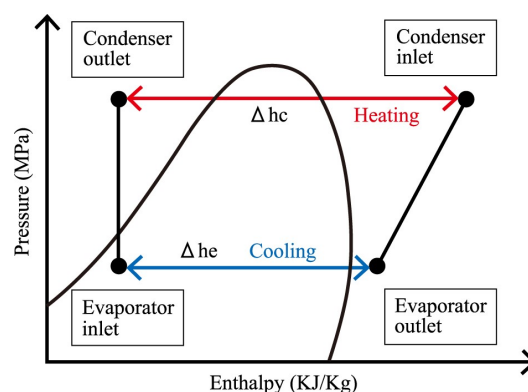


Fig. 1 Mollier chart

ここで、比エンタルピ差の算出には、室内機の出入口における冷媒の物性値（温度・圧力）からその差を求める。

単位時間当たりの冷媒流量は式(2)に示すとおりであるが、ここで体積効率  $\eta$  のみが未知のパラメータであり、圧縮機の型式、回転数、圧力比などにより異なる値である。

$$G_{comp} = \rho \times V \times N \times \eta \quad (2)$$

$\rho$  : 圧縮機吸入密度

$V$  : 圧縮機排除容積

$N$  : 圧縮機回転数

$\eta$  : 体積効率

CC 法の精度を担保する上で、この体積効率値は大きなウェイトを占めることから、供試機を環境試験室内で運転し、同値の検証を行った。体積効率は式(3)で定義されるが、一般にユーザーが既知とするのは困難である。そこで、本研究では試験室の測定能力を真値として、式(4)に示す算法で体積効率値を逆算し求めた。

$$\eta = \frac{V_{act}}{V_{the}} \quad (3)$$

$$\eta = \frac{G_{comp}}{\rho \times V \times N} \quad (4)$$

$V_{act}$ : 実際の吸入容積,  $V_{the}$ : 理論排除容積

## 2) 環境試験室の概要

本研究における一連の計測は、Fig. 2 に示す関西電力(株)所有の高精環境試験室で行った。同試験室は、一般財団法人日本冷凍空調研究所の試験設備と相互検定を実施し、準認定を受けており、空調能力の相対誤差は3%以内である。試験室は室外機側と室内機側の二部屋から構成され、それぞれで室内環境である温度・湿度の設定が可能である。供試空調機の能力は、JIS 試験法に基づいた空気エンタルピ法により計測される。供試機の吹出し空気は、室内機側の空気チャンバーに備え付けたダクトから吸引され、上部の測定部で温度・湿度および風量が測定され空調能力を算出する。

$$\begin{aligned} \text{空調能力 (kW)} = \\ \text{室内機吹出口・吸込口の空気の比エンタルピ差} \\ \text{(kJ/kg)} \times \text{室内機の風量(kg/s)} \quad (5) \end{aligned}$$

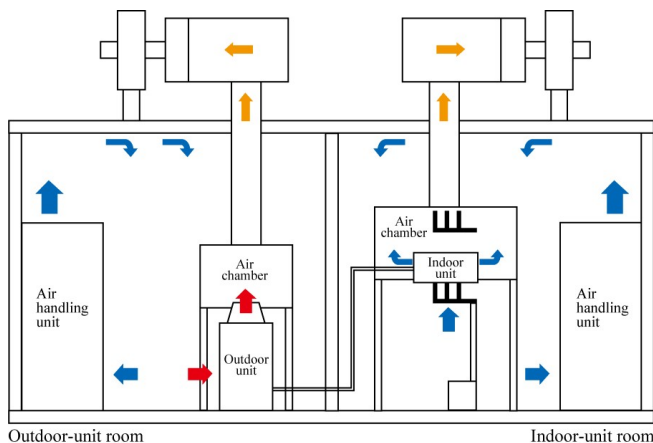


Fig. 2 Diagram of the test unit

冷・暖房モードにおける両室の乾球温度(DB)と湿球温度(WB)の設定値をTable 1に示す。運転時の諸値や冷媒物性値などを五秒間隔で計測し、その結果から空調能力を算出した。なお、体積効率値の同定は、環境試験室で計測された空調能力および消費電力が安定した状態にある期間で行った。

CC法の算定原理から、例えば運転開始時や断

続運転時などの、いわゆる過渡期での算定精度が低下する傾向があるが、本実測は体積効率値の同定であるため、各負荷域での安定運転時を採用したものである。

Table 1 Test conditions

	Indoor unit DB/WB (°C)	Outdoor unit DB/WB (°C)
Cooling	27/18	35/24
Heating	21/15	8/5

## 3) 供試機の概要

本研究では、4基の室内機と1基の室外機を構成するビルマルチ型EHP空調機を使用した。Table 2にその仕様を示す。

Table 2 Specifications of indoor & outdoor units

Designation		Specifications	
		Outdoor unit	Indoor unit
		kW	kW
Capacity	Cooling	28.0	7.1
	Heating		8.0
Consumption	Cooling	9.1	0.05
	Heating		
Compressor	Type	Scroll × 2	
	Displacement	Same volume	
Refrigerant		R-410A	

## 3. 計測結果

### 1) 冷房運転時における結果

Fig. 3に、冷房時における空調機負荷率に対する体積効率値を示す。また、式(6)に本結果の回帰式を示す。重相関係数は0.86と高い。

体積効率値は低負荷域で緩やかに低下し、高負荷域で緩やかな増加もしくはフラットな特性になる。暖房時においてもほぼ同様の傾向であり、冷暖ともに同じ回帰式を用いても差し支えないと考える。

$$\eta = -0.0000138x^2 + 0.00263x + 0.672 \quad (6)$$

$$(R^2=0.86)$$

なお、体積効率値の単純平均は0.77であり、これは暖房時でも同値である。

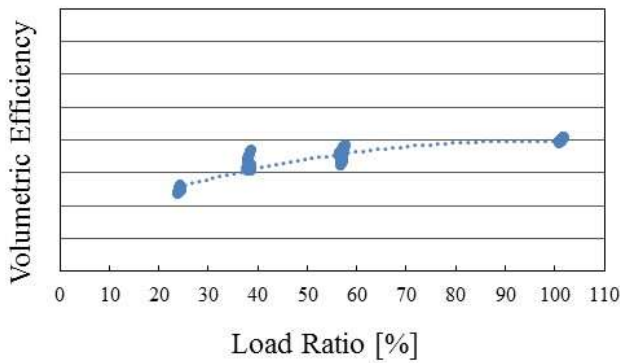


Fig. 3 Volumetric efficiency in cooling operation

## 2) 体積効率値の回転数特性

一般に圧縮機の回転数と体積効率の関係は Fig. 3 に示す特性を有する。すなわち、低回転域では漏出の影響で体積効率値は低下し、また、高回転域では圧力降下の影響で緩やかに低下する。

しかし、本実測結果では高負荷域での体積効率値の低下は認められない。これは、本供試機の場合、圧縮機の運転制御から高負荷時において体積効率値に影響を及ぼす高回転域での運転が出現しないことによると考えられる。今後、他機種への適用する場合は、圧縮機の型式のみならず運転制御手法などにも考慮する必要がある。

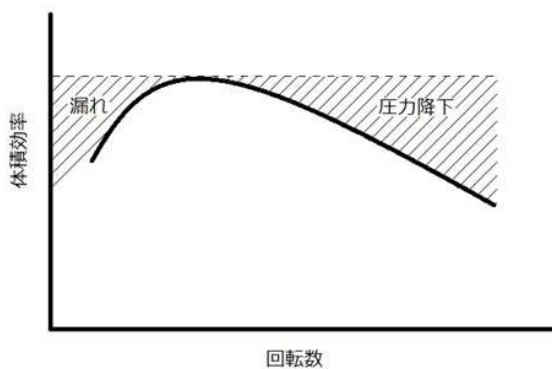


Fig. 4 Volumetric efficiency and compressor revolution

また、今回の結果は文献等による体積効率値より全般にわたって体積効率値が低い傾向にある。これは、本供試機に限らず、圧縮機の潤滑油レベルを維持するための制御が行われ、その結果として見かけの体積効率が低下したものと考えられる。したがって、今後の広範囲な体積効率値適用のためには、圧縮機単体の特性の他

にも、このような運転制御や仕様などにも考慮する必要がある。

## 4. 体積効率値の精度検証

体積効率の精度検証のため、環境試験室において空気エンタルピ法により算出した空調能力を真値とし、これと回帰式（対空調機負荷率）、本実測での単純平均値 ( $\eta=0.77$ ) および固定値 ( $\eta=0.85$ ) を用い、それぞれを比較した。ここで固定値とは、従来に筆者らが実験的に求め、CC 法に適用した代表値である。なお、この比較に用いたデータは、同一供試機のものであるが、体積効率値を求めた本実測とは別の実測結果である。Fig. 5~7 および Table. 3 に、冷房運転時における 30%、60%、70% 負荷率での相対誤差を示す。当然のことながら回帰式に対する相対誤差が最も小さく、冷房時では 5.7%、暖房時では 2.8% である。また、固定値の相対誤差は、冷・暖運転時ともに単純平均値より精度が低下した。これらの結果より、圧縮機の冷媒流量特性が不明な場合に適用する簡易 CC 法における精度向上には、適正な体積効率値の適用が重要であることがわかる。

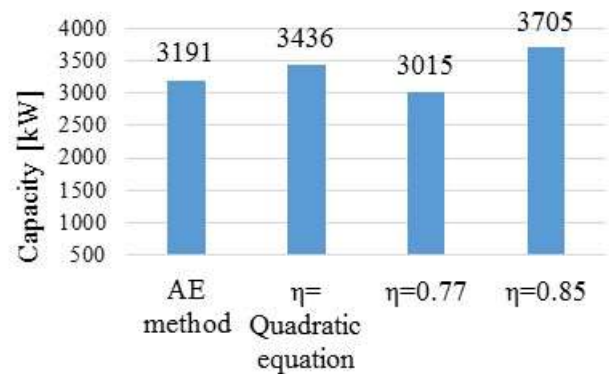


Fig. 5 Accuracy of volumetric efficiency (70% load)

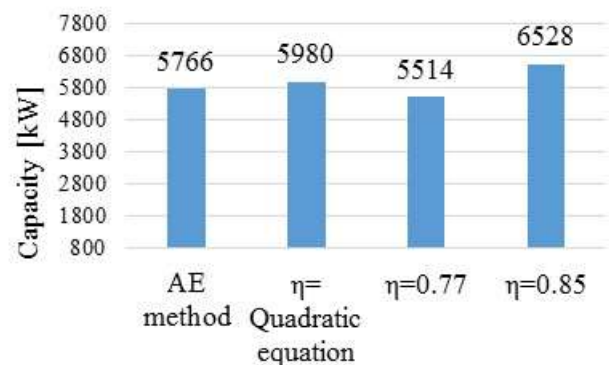


Fig. 6 Accuracy of volumetric efficiency (60% load)

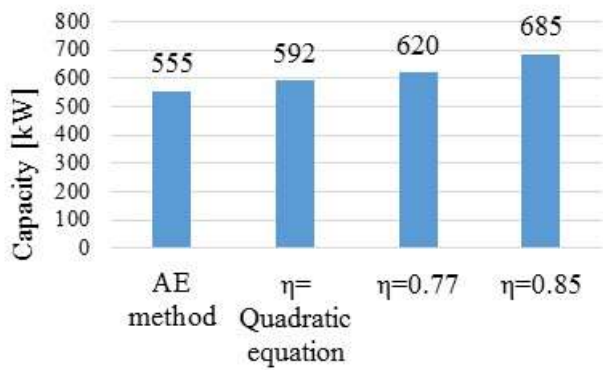


Fig. 7 Accuracy of volumetric efficiency (30 % load)

## 参考文献

- Goetzler W., Variable Refrigerant Flow Systems. ASHRAE Journal 2007;49(7):24-31.
- The Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association, World Air Conditioning Demand by Region. Available at: <<https://www.jraia.or.jp/english/index.html>> [accessed 20.1.2016].
- Kato Y., Kametani S., Performance Evaluation Methods of a Split Air Conditioning System. ECOS 2009: Proceedings of the 22nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization Simulation and Environmental Impact of Energy Systems; 2009 Aug 31-Sep 3; Parana, Brazil.
- Nishimura S., Kametani S., Performance Evaluation Using Remote Monitoring System and Compressor Curve Method for Gas Engine Driven Heat Pump. 8th International Conference on Compressors and Coolants; 2013 Sep 2-4; Smolenis, Slovakia.
- Sekine N., Furuhashi Y., Kametani S., The Simple Performance Evaluation Method of VRF System Using Volumetric Efficiency of Compressor. 14th International Refrigeration and Air Conditioning Conference; 2012 Jul 16-19; Indiana, the United States. Purdue e-Pubs:2422.
- Takahashi S., Tokita S., Ito M., Funatani A., Kametani S., Study on Performance Evaluation Method of a Split Air Conditioning System Based on Characteristic Curve of the Compressor Mass Flow Rate. 12th International Refrigeration and Air Conditioning Conference; 2008 Jul 14-17; Indiana, the United States. Purdue e-Pubs:2378.
- Wakahara T., Imanari T., Nobe T., Kametani S., Development of the Performance Evaluation Method for a Split Air Conditioning System Using the Compressor Characteristic Curve. 13th International Refrigeration and Air Conditioning Conference; 2010 Jul 12-15; Indiana, the United States. Purdue e-Pubs:2221.

Table 3. Average relative errors to the quadratic equation, average and constant values

Operation	Quadratic equation	Average value	Constant value
Cooling	5.7 %	6.8 %	14.9 %
Heating	2.8 %	4.1 %	7.2 %

## 4. まとめ

市場が拡大している個別分散空調機のオンサイト性能評価法としてCC法が実用的である。この適用時に必要な体積効率について、高精度な環境試験室を用いて同値の精度が空調能力の算定値に与える影響を明らかにした。得られた知見は以下の通りである。

- 冷・暖房運転ともに、体積効率値は二次曲線で回帰できる。また、両運転時においても、同一の体積効率値を用いても差し支えない。
- 体積効率値は、圧縮機の型式のみならず、空調機の制御仕様などによって異なることがある。
- 高精度な実測による回帰式による体積効率値を用いた場合、空調能力の相対誤差は単純平均値や固定値の結果と比較して有意な差となり、CC法の精度向上に貢献する。

本研究の次のステップとして、本手法を用いて個別分散空調機のオンサイトでの性能評価を高精度で行い、得られた様々な運報から、同空調機の運転実態を明らかにする。

このような運転情報は、例えばユーザーの無駄運転の回避や設備設計者の過大な設備容量の改善などに貢献し、その結果として、実効的な同空調システムの省エネルギーに帰結するものと考えられる。