

容量制御システムによるカーエアコン省動力化

Car Air Conditioner Capacity Control Saves Energy

技術本部 渡辺 泰*¹ 関田 真澄*²
冷熱事業本部 三浦 茂樹*³

カーエアコンの多くはエンジン動力を利用してコンプレッサを駆動しており、省動力化及び冷房能力の制御には強いニーズがある。本報では外部信号により押しのけ量を30～100%に調節可能な“デマンド容量制御コンプレッサ”とクラッチサイクリングによる断続運転を組み合わせて用いるシステムを構成した。本システムは外気温度、エンジン回転数に応じたコンプレッサの容量制御と断続運転により、冷凍サイクル効率向上及び余剰能力削減による省動力、省燃費を目指した。その結果、コンプレッサ消費エネルギーを固定容量コンプレッサに対して年間29%削減し、燃料消費でも同様な削減効果が得られた。

Compressors in car air-conditioners are driven by the vehicle's engine. The saving powerconsumption and cooling capacity control, are important needs. An externally capacity-controlled (30-100%) scroll compressor with clutch cycling is controlled based on ambient temperature and engine speed. It saves energy and fuel by improving the refrigeration cycle efficiency and reducing excessive cooling. annual energy consumption of the compressor is reduced by 29% in bench tests and the compressor reduces annual fuel consumption in vehicle tests.

1. ま え が き

エアコンが地球環境に影響を与える要因として、冷媒排出による環境破壊と共に、エアコン運転時のエネルギー消費が挙げられる。特にカーエアコンは、動力を車両のエンジンから得ているために、カーエアコンの省動力化は車両の実燃費向上につながり、地球環境保護のみならず、ユーザにとって直接的なメリットをもたらす。一方、省動力、省燃費効果の定量化は、定格点における効率議論のみでは実際に一年間を通して使用した場合の優劣が明らかになりにくいことから、TEWI (Total Equivalent Warming Impact) の年間エアコン使用時間に基づいた年間動力比較等を行う必要があると考えられる。そこで本報ではデマンド容量制御コンプレッサとクラッチサイクリングによるコンプレッサ断続運転を組み合わせた省動力システムを提案し、TEWI条件に基づいた省動力効果を定量化した。

2. デマンド容量制御システム

2.1 デマンド容量制御コンプレッサ

本研究では、既報⁽¹⁾⁽²⁾で紹介したデマンド容量制御コンプレッサMSC 90 CVDを用いた。本コンプレッサの容量制御機構は、従来の内部容量制御式コンプレッサが吸入圧力を一定に保つよう容量制御機構が働くのに対し、外部信号により吸入圧力を希望のレベルに調整するよう容量制御機構が働く。この圧縮機では、大能力が必要で低い吹出温度が求められる場合には、吸入圧力を下げる指令を外部から与え、大能力が不要で低い吹出温度が求められない場合には吸入圧力を上げる指令を外部から与えることが可能である。吸入圧力の調節範囲は0.15～0.5 MPa (飽和温度約 - 4.1～21.6)

である。吸入圧力の調整は、圧縮室に設けたバイパスポートから冷媒を吸入側へバイパスして逃がすことで、コンプレッサ容量を30%相当～100%に変化させて行う。

2.2 デマンド容量制御システム

従来の固定容量コンプレッサを用いたカーエアコンシステムは、エバポレータがフロストしない範囲の最大能力で冷却した空気を温水ヒータを通して暖め、希望の吹出空気温度を得ている。これに対して、デマンド容量制御コンプレッサを用いたカーエアコンシステムでは、エバポレータ出口の空気温度が希望の吹出空気温度に一致するようにデマンド容量制御コンプレッサの容量を変化させ、冷凍能力を調節する。ただし、後述するように、冷凍サイクルの効率が最良となるようにクラッチサイクリングによる断続運転を組み合わせている。

2.3 デマンド容量制御システムの効用

デマンド容量制御システムを用いた場合に得られる効果は次の2つが考えられる。1つ目は、固定容量コンプレッサでは温水ヒータを用いて再加熱する分まで発生させていた冷凍能力を本システムでは削減することによる動力削減効果である。2つ目は容量制御によって冷媒循環量が減少し、冷凍サイクルの効率 (COP = Coefficient of Performance) が向上する効果である。

3. 省動力効果予測

3.1 必要コンプレッサ容量予測

バランス点計算と1800 ccクラス小型乗用車の車両熱負荷計算により、各外気温度と車両速度において必要なコンプレッサ容量を予測した結果を図1に示す。アイドリング (ID) 時には外気温度35℃において最大容量である100%容量が必

*¹名古屋研究所冷熱システム研究室

*²名古屋研究所圧縮機研究室主席

*³技術総括部コンプレッサ技術部

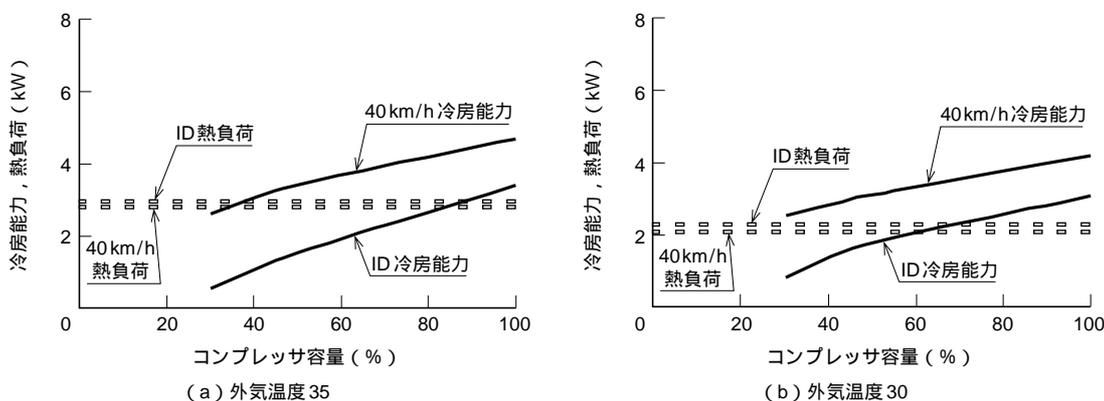


図1 車両熱負荷，デマンド容量制御システム冷房能力予測
容量制御なしでは，冷房能力が車両熱負荷に比べて大きく過剰である。
Prediction about cabin heat load and cooling capacity of demand capacity control system

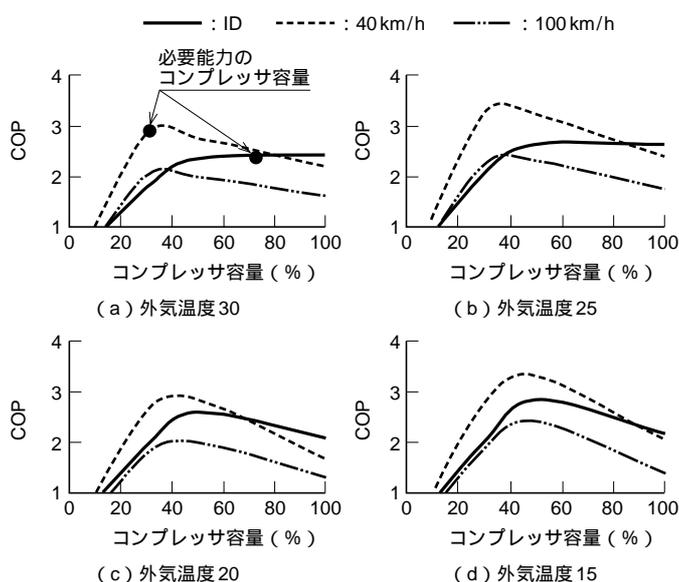


図2 デマンド容量制御システム効率予測
多くの条件で，コンプレッサ容量40～60%近傍に効率のピークを持つ．30条件のは車両熱負荷と同等の能力となるコンプレッサ容量である。
Predicted COP of demand capacity control system

要で，外気温度30で70%程度の容量が必要となる．40 km/hの車速条件では35，30どちらの外気温度でも最低容量である30%に必要な冷房能力が得られることが予測された．

3.2 冷凍サイクル効率予測

外気温度，車両速度，コンプレッサ容量をパラメータにバランス点計算を行いCOPを予測した．結果を図2に示す．その結果，外気温度25，30のアイドリング(ID)条件を除く広範囲な運転条件において，COPはコンプレッサ容量40%～60%程度の運転でピークをもつ特性を示す．この現象は以下と考えられる．図3に示すように，コンプレッサ容量を小さく制御したとき，冷媒流量減少による凝縮圧力の低下と蒸発圧力の上昇でコンプレッサの運転圧力比が低下し圧縮効率が向上する．そのため図中のコンプレッサ動力を示す h_{comp} が減少すると同時にエバポレータ能力を示す h_{eva} が増大しCOPは上昇する傾向を示す．しかし，コンプレッ

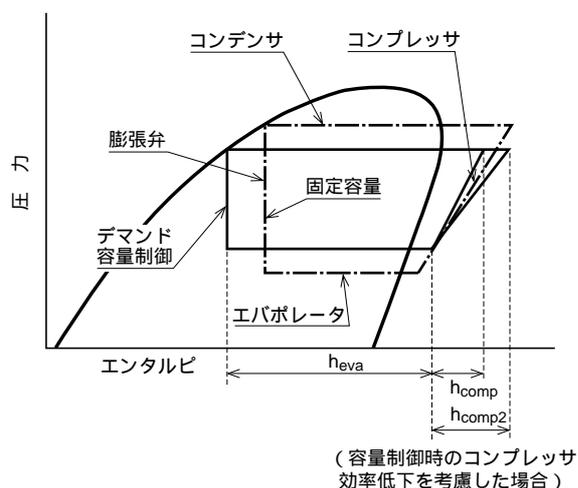


図3 デマンド容量制御による効率向上概念図
動力は圧縮圧力比の縮小により減少し，コンプレッサ効率の悪化により増加する．
Image of refrigeration cycle efficiency

サ容量を小さく制御した場合，同一条件下では冷媒のバイパスによる損失等でコンプレッサ全断熱圧縮効率は悪化し，動力が h_{comp2} のように大きくなる傾向がある．したがって容量制御を行った場合にはコンプレッサ運転圧力比縮小による圧縮動力減少効果と圧縮機そのものの全断熱圧縮効率の悪化による動力増加効果の相殺によってCOPの向上，低下が決まる．能力が0に近づいた場合はCOPも0に近づく．このため，COPが容量制御率に対して極大をもった特性を示すものとする．解析の結果から，COPが容量制御率に対して極大を持つ条件では，COP極大の容量制御率でコンプレッサを運転し，これにより生じる能力が過剰である場合にはコンプレッサの断続運転によって能力を調整するのが最も省動力になると考えられる．

4. 試験結果

4.1 台上試験

台上試験の結果得られた固定容量コンプレッサ及びデマンド容量制御コンプレッサの時間平均動力を図4に示す．固定

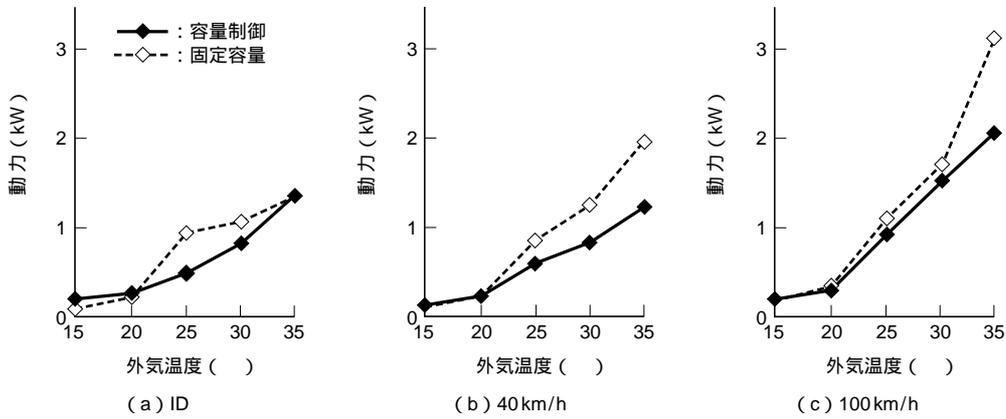


図4 時間平均コンプレッサ動力台上試験結果 デマンド容量制御コンプレッサ及び固定容量コンプレッサの動力の比較である。断続運転となる条件ではコンプレッサ停止時も含めた時間平均となる。 Testing result of time average compressor power

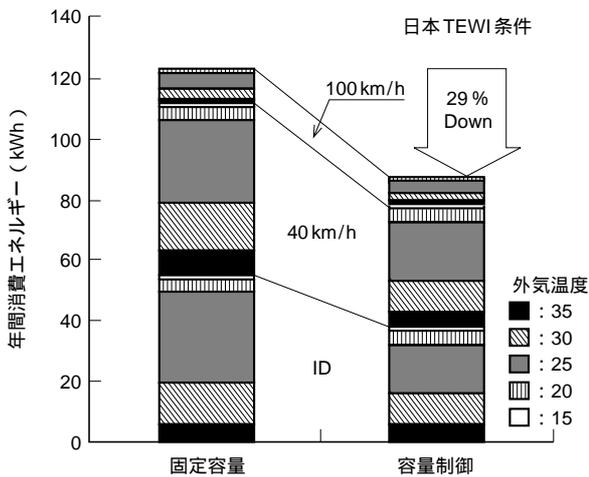


図5 年間エアコン消費エネルギー試験結果 日本のTEWI算出時間配分に従い算出した。デマンド容量制御と断続運転を組み合わせることで年間29%の動力削減が可能である。 Testing result of energy consumption in a year

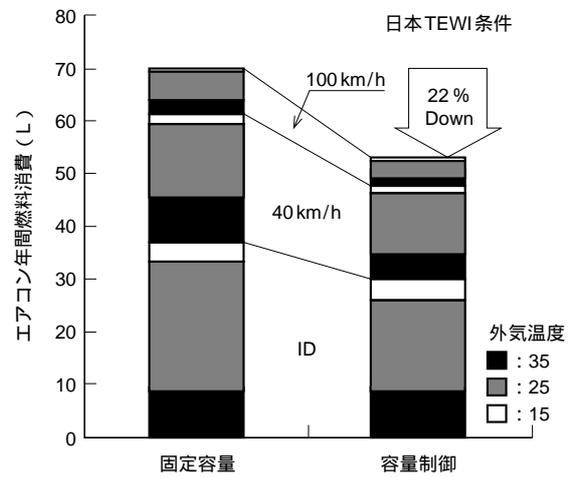


図6 年間エアコン燃料消費試験結果 デマンド容量制御と断続運転を組み合わせさせたシステムは、エアコンが消費する燃料を年間22%削減可能である。 Testing result of fuel consumption in a year

容量コンプレッサ，デマンド容量制御コンプレッサとも，低外気温度，高回転の条件ではエバポレータ吹出空気温度が低下し，エバポレータのフロスト防止のためサーモスタットで断続運転に入っている．消費動力の値は，断続運転時のコンプレッサ停止時間も含めた時間平均動力である．デマンド容量制御コンプレッサの容量は3.1節で求めた必要能力に基づいて決定している．外気温度が高く速度が低いアイドリング（ID）条件ではデマンド容量制御コンプレッサがほぼ最大容量で運転しているため，固定容量コンプレッサとの動力差は小さくなる．高外気温度，高速の条件では，3.2節で予測したとおり，冷凍サイクル効率が高いデマンド容量制御コンプレッサのCOPが高いために，デマンド容量制御コンプレッサの動力が固定容量コンプレッサに比べて小さくなる．低外気温度（15，20）の条件では，デマンド容量制御コンプレッサ，固定容量コンプレッサとも，定常状態に達する前に頻りにコンプレッサの運転，停止を繰り返す断続運転をしている．この場合，どちらのコンプレッサを用いた場合も，バランス点計算で求められる圧縮圧力比とはなっ

いない．同一の圧縮圧力比であれば，全断熱圧縮効率が高い固定容量コンプレッサのCOPが高い結果となるため，容量制御コンプレッサの動力は固定容量コンプレッサと同等か大きくなってしまふ．アイドリングの25，30条件は，図2に示すようにCOPがコンプレッサ容量を小さく制御するにつれて単調に悪化する条件であるが，デマンド容量制御コンプレッサは過剰能力を削減したことによる省動力効果によって動力を減少させている．

4.2 年間動力・燃料消費

日本におけるTEWI算出のためのエアコン年間運転条件に基づいて，年間の消費エネルギー及び消費燃料を算出した．デマンド容量制御コンプレッサは予測計算及び試験の結果から，外気温度，回転数条件に応じて容量制御運転+断続運転，最大容量運転+断続運転を使い分ける最適制御ストラテジを決定し，これに従っている．動力は4.1節の台上試験結果を用いて算出した．燃料消費測定には1800ccクラス乗用車を用い，シャーシダイナモを備えた実車環境模擬風洞内で実車試験を行って測定し算出した．デマンド容量制御コンプレ

ッサを最適に制御して使用した場合と、固定容量コンプレッサを使用した場合の年間消費エネルギーを図5に示す。デマンド容量制御コンプレッサは、固定容量コンプレッサと比較して年間29%の省動力効果が得られた。年間燃料消費の試験結果を図6に示す。年間のエアコン燃料消費も、デマンド容量制御コンプレッサは固定容量制御コンプレッサに対して22%削減ができた。台上試験による動力の減少率に比べ実車試験による燃料消費の減少率が低い理由として、実車試験に用いた車両はアイドル条件において、コンプレッサONの状態ではエンジン回転数を通常より高く制御するアイドルアップ制御をエンジンに設定しており、この設定は固定容量コンプレッサの運動動力に合わせて調整してある。そのため容量制御を行い、コンプレッサ動力が小さくなくてもアイドル時の消費燃料が減少しにくかったと考えられる。この点は、アイドルアップ制御をデマンド容量制御コンプレッサに合わせて設定することで改善可能である。

5. 他方式コンプレッサ・国外気候条件の検討

バランス点計算による予測結果について、固定容量斜板コンプレッサを含めて、アメリカの気候、運転条件を考慮したTEWI条件で比較した結果を図7に示す。容量制御スクロールコンプレッサと固定容量スクロールコンプレッサを比較すると、4.2節の日本の条件における比較で、容量制御コンプレッサの年間消費エネルギー削減に大きく貢献していた外気温度25、20条件の出現頻度がアメリカの条件では少ないにもかかわらずアメリカの条件でも16%のエネルギー削減効果となる。また、固定容量スクロールコンプレッサと固定容量斜板コンプレッサを比較するとスクロールコンプレッサは特に高速条件において高効率であり、斜板コンプレッサに対して14%エネルギー削減可能である。

6. ま と め

デマンド容量制御コンプレッサとクラッチサイクリングによるコンプレッサ断続運転を組み合わせた省動力システムを外気温度及びコンプレッサ回転数（エンジン回転数）に応じ

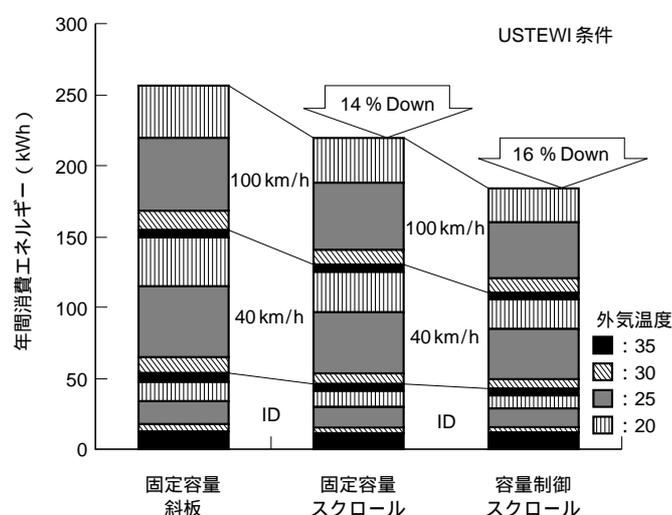


図7 バランス点計算による年間消費エネルギー予測 アメリカを想定したTEWI算出条件で比較した。斜板コンプレッサに対してもデマンド容量制御と断続運転を組み合わせると省動力となる。

Energy consumption in a year by simulation

て制御することで以下の省動力効果を得た。台上試験では固定容量コンプレッサ対比29%の動力低減、実車試験により22%のコンプレッサ消費燃料削減が可能であることを確認した。また、斜板コンプレッサに対しても、アメリカの気候、運転条件下に於いても省動力化が可能である。今後、更なる省動力化のため、現在よりも高いエバポレータ吹出温度で断続運転に入る制御を、窓曇り、湿度上昇が乗員の快適性に与える影響等を考慮した上で確立する。

参 考 文 献

- (1) 関田真澄ほか、カーエアコン用スクロール圧縮機の省動力化技術、三菱重工技報 Vol.37 No.2 (2000) p 86
- (2) M. Sekita, et al, 2000, Power Saving Technology of Scroll Compressor for Car Air Conditioner, 2000 Int. Compressor Engineering Conference at Purdue, p 415