

設備更新等によるCO₂削減効果の算定ツール (空気圧縮機(コンプレッサー)の高効率化)

[本ツールの目的]

設備更新の効果算定ツール(圧空設備の高効率化)（以下、本ツールという）は、圧空設備の高効率化の効果を基本性能等と電力量から簡易に推算し、設備更新の計画策定に資することを目的としている。圧空設備では低負荷時の性能低下が課題となっており、これを改善するためにインバータ機の普及を促すことを狙いとしている。

[本ツールの特徴]

本ツールは、圧空設備更新の効果を簡易に推算するために各項目の入力を行えば、既存圧空設備の使用電力量から導入予定設備の使用電力量を求められるようにプログラムされている。また、既存設備の使用電力量の把握について実測を含め2種類の方法を提示している。【使用条件】に示すようにスクリュー圧縮機の主な容量制御方式に対応している。

[使用条件]

本ツールは、圧空設備の中でも多く使用されているスクリュー圧縮機を対象としており、その容量制御方式が下記のいずれかである場合に適用できる。更新の対象となる圧空設備の使用電力量が実測されている場合、および短期間の実測が可能な場合に本ツールを使用できる。本ツールを適用できない場合はCO₂削減対策の効果算定ガイドライン等を参照し、算定する必要がある。

- ① 吸込み絞り+パージ(減圧)機をロードアンロード機に更新(更新前後とも給油式)
- ② ロードアンロード機を性能改善されたロードアンロード機に更新(同上)
- ③ ドライオイルフリーのロードアンロード機を性能改善されたロードアンロード機に更新(更新前後ともドライオイルフリー注1)
- ④ 吸込み絞り+パージ(減圧)機をインバータ機に更新(更新前後とも給油式)
- ⑤ ロードアンロード機をインバータ式に更新(同上)
- ⑥ ドライオイルフリーのロードアンロード機をインバータ機に更新(更新前後ともドライオイルフリー注1)
- ⑦ インバータ機を性能改善されたインバータ機に更新(更新前後とも同一形式)

注1 オイルフリーにはドライオイルフリーと水噴射式があり、ドライオイルフリーはローター間に微小な隙間があり接触しないので潤滑剤を使用しない。

[本ツールの適用範囲]

本ツールは、設備更新の効果を簡易的に把握するために開発されたものであり、他の目的に利用することは想定されていない。

[免責事項]

本ツールは、あらゆる入力に対して正しい計算結果が得られることを保証するものではない。計算結果の取り扱いについては自己責任とすることに同意できる場合のみ使用できる。

[本ツールの改訂]

本ツールは予告なく改訂される場合がある。利用の際には、環境省ウェブサイトから最新版を入手し、使用していただきたい。

[本ツールの使い方]

本ツールを使用するにあたっては、初めにシート【1 フローチャート】で既存設備および導入予定設備が上記【使用条件】に記載の組合せに適合していることを確認する。利用可能であればシート【2 算定シート】に既存設備および導入予定設備の能力等必要事項を入力することにより、更新前後の消費電力量、CO₂削減効果、エネルギーコストなどが算出される。

既存設備の使用電力量を把握していない場合は、短期間の電力量を実測して年間の使用電力量を推定する。実測したデータを所定の表に入力することで、更新前後のCO₂排出量やCO₂削減効果、エネルギーコストなどを試算することが可能となる。

なお、エネルギーコストについては、単価（円/電力使用量 kWh）を入力することで算定される。

シート【2 算定シート】では、いずれもStep1からの操作、および実測の場合はそのデータを所定の表に入力することにより既存設備および導入予定設備の使用電力量が自動的に計算・表示される。本ツールの計算の考え方は、巻末のAppendixに記載のとおりである。

1. 効果算定のための条件入力【2 算定シート】

利用開始前の圧空設備の効果算定ツールの画面を図1に示す。図1のように、利用者がプルダウンで選択する必要がある項目については緑色、入力する必要があるセルはすべて黄色に着色されている。

設備更新等によるCO2削減効果の算定ツール（空気圧縮機（コンプレッサー）の高効率化）																			Ver. 1.11																			
既存設備の1日の稼働時間及び毎月の稼働日数を入力してください																			セルの説明																			
step 1	月	4月		5月		6月		7月		8月		9月		10月		11月		12月		1月		2月		3月														
	稼働時間	時間	分	時間	分	時間	分	時間		分	時間	分	時間	分	時間	分																						
	10	30	10	30	10	30	11		11		11		10	30	10	30	10	30	10	30	10	30	10	30														
	稼働日数	30		31		30		31		31		30		31		30		31		31		31		28		31												
使用しているいづれかの周波数を選択してください																			50Hz																			
step 2	既存設備の定格性能および使用条件を選択または入力してください																			容量制御方式	吸込み絞りプラスバージ_減圧																	
																				定格性能	定格風量	6.1		m3/min		*1)定格消費電力がわかる場合は、値を入力して下さい。 不明の場合は、定格出力を定格モーター効率で除して求めるので、 定格モーター効率を入力して下さい												
																					定格出力	37.0		kW														
																					定格消費電力	40.5		kW														
																					定格消費電力（入力）*1	40.5		kW														
																					定格モーター効率	91.2		%														
																					定格モーター効率（入力）*2			%														
																			*2)定格モーター効率がわかる場合は、値を入力して下さい。 不明な場合は、IE1クラスの効率を使用します。																			

図1 利用開始前の圧空設備の効果算定ツール画面

以下、Step1から7の操作について説明する。

Step1 現在使用中の更新対象スクリュー圧縮機（既存機）の1日の稼働時間、毎月の稼働日数、使用している周波数を入力および選択する。

既存設備の1日の稼働時間及び毎月の稼働日数を入力してください																										
step 1	月	4月		5月		6月		7月		8月		9月		10月		11月		12月		1月		2月		3月		
	稼働時間	時間	分	時間	分	時間	分	時間	分	時間	分	時間	分	時間	分											
	10	30	10	30	10	30	11		11		11		10	30	10	30	10	30	10	30	10	30	10	30		
	稼働日数	30		31		30		31		31		30		31		30		31		31		31		28		31
使用しているいづれかの周波数を選択してください																			50Hz							

図2 Step1 入力画面

Step2 既存機の容量制御方式を選択し、次いで定格性能を入力する。

定格消費電力は公表されていないことが多いが、その場合は、モーター定格出力（または公称出力）を定格モーター効率で除して求めるため、定格消費電力の入力欄は空欄で定格モーター効率欄に値を入力する。更に定格モーター効率が不明な場合（入力欄が空欄）は、IE1 クラスの効率を使用して算出する。

step 2	既存設備の定格性能および使用条件を選択または入力してください	容量制御方式	吸込み絞りプラスパージ_減圧	
			定格性能	吸込み絞りプラスパージ_減圧
			吸込み絞りプラスパージ_減圧	m3/min
			ロードアンロード_給油式	kW
			ロードアンロード_オイルフリー	kW
			インバータ	%
			定格消費電力（入力）*1	40.5
				kW

図3 Step2「容量制御方式」選択画面

step 2	既存設備の定格性能および使用条件を選択または入力してください	容量制御方式	吸込み絞りプラスパージ_減圧	
			定格性能	吸込み絞りプラスパージ_減圧
			定格風量	6.1
			定格出力	37.0
			定格消費電力	40.5
			定格消費電力（入力）*1	40.5
			定格モーター効率	91.2
			定格モーター効率(入力)*2	%
				%

図4 Step2「定格性能」入力画面

Step3 導入予定機の容量制御方式を選択し、次いで定格性能を入力する。容量制御がロードアンロードの場合は、レシーバタンク容量を必ず入力する。

定格消費電力は公表されていないことが多いが、その場合は、モーター定格出力（または公称出力）を定格モーター効率で除して求めるため、定格消費電力の入力欄は空欄のままで、定格モーター効率欄に値を入力する。更に定格モーター効率が不明な場合（入力欄が空欄）は、IE3 クラスの効率を使用して算出する。

step 3	導入設備の定格性能および使用条件を選択または入力してください	容量制御方式	インバータ	
			定格性能	インバータ
			定格風量	6.5
			定格出力	37.0
			定格消費電力	39.4
			定格消費電力（入力）*1	
			定格モーター効率	93.9
			定格モーター効率(入力)*3	%
			レシーバタンク容量*4	4.0
				m3

図5 Step3「定格性能」入力画面

Step4 既存機の電力量を求める方法を①専用の常設電力量計の値または②一定期間の実測によるかを選択する。

step 4	既存設備の電力量算定方法を選択してください	①専用の常設電力量計により算出
step 5	常設電力量計の1年間の積算電力量を入力してください	①専用の常設電力量計により算出 ②一日当たりの電力量を一定（7日-15日程度）の日数平均値により算出

図 6 Step4 選択画面

Step5 上記で①の常設電力量計の値を選択した場合は、その値を入力する。ただし、更新対象スクリュー圧縮機（既存機）を含め、複数の圧縮機全体の使用電力量を計測している場合は、モーター定格出力（または公称出力）、推定平均負荷率、年間稼働時間より Appendix の式（1）に従い更新対象機の電力使用量を按分算出し、これを記入する。

step 5	常設電力量計の1年間の積算電力量を入力してください[kWh/年]	150,000
-----------	----------------------------------	---------

図 7 Step5 入力画面

Step6 Step4 で②の短期間実測を選択した場合は、計測期間中の1日当たりの電力量を日毎に記入する。休日に稼働していない場合は除外する。

生産量の変動が大きい（10%以上）場合は、毎月の生産量比を加味するため表に毎月の生産量を入力する。計測を実施した月を基準月とし、他の月の1日当たりの生産量の基準月1日当たり生産量に対する比として生産量比が自動計算される。なお、生産量としては、生産台数、生産質量、生産金額など圧空負荷に深く係わるものを適切に選ぶ。月毎の生産量比が小さい（10%未満）場合は、生産量の欄にすべて1を入力する。年間使用電力量は、Appendix の式（2）により、月毎の電力使用量を算出し、これを積算して求める。

計測した電力量（7日以上）を入力してください[kWh/日]															
400	400	400	800	400	400	400	800	400	400	400	400	400	400	400	400
step 6	基準となる月を入力してください														
6	7 月														
生産量（単位は、任意の数量、質量、金額等）を数値のみ入力してください															
4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月				
10,000	15,000	10,000	15,000	10,000	10,000	9,000	16,000	20,000	6,000	10,000	30,000				

図 8 Step6 入力画面

Step7 基準年度の電力単価を入力する。

step 7	基準年度の電力単価を入力してください[円/kWh]	30
-----------	---------------------------	----

図 9 Step7 入力画面

注 2：選択した圧空設備に対応する入力欄のすべてに数値を入力しなければ、正しい計算結果が表示されないため、算定結果の数値に疑義がある場合は、入力漏れや入力場所の間違いがないか確認してください。

2. 圧空設備の算定結果

1. 項で入力した条件に従って自動計算された結果が「2 算定シート」の「効果の算定結果」に表示される。表示は既設圧縮機及び導入予定圧縮機それぞれについて年間使用電力量、エネルギー使用量、エネルギー削減量、CO₂排出量、CO₂削減量、電気料金が図 10 に示すように表示される。

効果の算定結果		
項目	既存設備	導入設備
容量制御方式	吸込み絞りプラスバージー減圧	インバータ
定格風量 [m ³ /min]	6.1	6.5
モーター定格出力 (公称出力) [kW]	37.0	37.0
年間使用電力量 [kWh/年]	150,000	125,759
CO ₂ 排出量 [t-CO ₂ /年]	65.70	55.08
CO ₂ 削減量 [t-CO ₂ /年]		10.62
電気料金 [千円/年]	4,500	3,773
CO ₂ 排出係数 電気	0.438	t-CO ₂ /千kWh

図 10 算定結果画面

Appendix

A1. 既設機の年間使用電力量の求め方について

A1.1 常設電力計で計測の場合

更新対象の圧縮機専用の電力量計が常設されている場合は、年間の積算電力量を読み取り入力すればよいが、複数台の圧縮機をまとめて計測している場合は按分するか、更新対象機のみを実測して求める必要がある。按分の方法としては各圧縮機のモーター定格出力（または公称出力）、推定平均負荷率、年間稼働時間より、次により求める。負荷率については STEP 5 参照

$$E1 = \frac{Mr \times f \times t}{\sum (Mri \times f_i \times t_i)} \times E1m \quad (1)$$

ここで E1 : 年間使用電力量 [kWh/年]

Mr : 更新対象圧縮機モーターの定格出力 [kW]

f : 圧縮機の推定年間平均負荷率（注 2）

t : 更新対象圧縮機の年間運転時間 [hr]

E1m : 圧縮機全体の計測電力量 [kWh/年]

添え字 i : 計測された全圧縮機の積算番号

注 3 : 各モーターの負荷率は正確には運転時動力÷定格出力であるが、モーター特性図が得られない場合は、簡易的に運転時電流÷定格電流で求めてよい。
ただし、ロードアンロード制御の場合は簡易的に一定運転時間に対するロード時間（=全負荷運転時間）の比率で求める。
例えば 5 分の運転時間中ロード時間が 3 分であれば負荷率は $3 \div 5 = 0.6 \rightarrow 60\%$ の負荷率となる。

A1.2 短期間実測による場合

更新対象機の1日の電力量を一定期間計測し、その平均値に年間運転日数を乗じて年間の電力量を求める。但し生産量の変動がある場合は、これを考慮して月毎の電力量を求める必要があり、計算式は以下となる。

$$E_1 = \sum_{m=1}^{12} E_{av1} \times (Rm) \times Nm \quad (2)$$

$$E_{av1} = \frac{\sum_{k=1}^n e_k}{n} \quad (3)$$

$$Rm = \frac{P_m}{P_s} \times \frac{Ns}{Nm} \quad (4)$$

ここで E_1 :年間使用電力量 [kWh/年]

E_{av1} : 実測した期間の1日の平均電力量 [kWh/日]

e_k : 実測した各日の電力量 [kWh/日]

n : 計測した日数 [日]

R_m : 各月の生産量比

P_m : 各月の更新対象圧縮機使用の生産量

P_s : 計測した基準月の同上生産量

N_m : 各月の稼働日数

N_s : 基準月の稼働日数

添字 1 : 更新前

2 : 更新後

A2. 導入予定機の年間電力量の求め方について

既設機と導入予定機の制御方式の組合せにより導入予定機の年間使用電力量の求め方は変わる。ただ、いずれの場合も図 11 のように、先ず既設機の電力量から年平均消費電力比を求め、次いで既設機の特性から消費風量比を求め、これに定格風量および年間運転時間を乗じれば年間消費風量となる。そして、この年間消費風量は、導入予定機も同一風量である。

次に、年間消費風量を年間運転時間で除し、さらに導入予定機の定格風量で除して導入予定機の消費風量比を求める。そして、この消費風量比から導入予定機の特性に従って消費電力比を求める方法は既存機の場合のそれと変わらない。

制御方法によって消費風量比に対する消費電力比の関係が変わるのが本ツールの要点である。例えばインバータ式の場合、風量比と消費電力比は正比例とみなせるため、消費風量比 = 消費電力比となる。

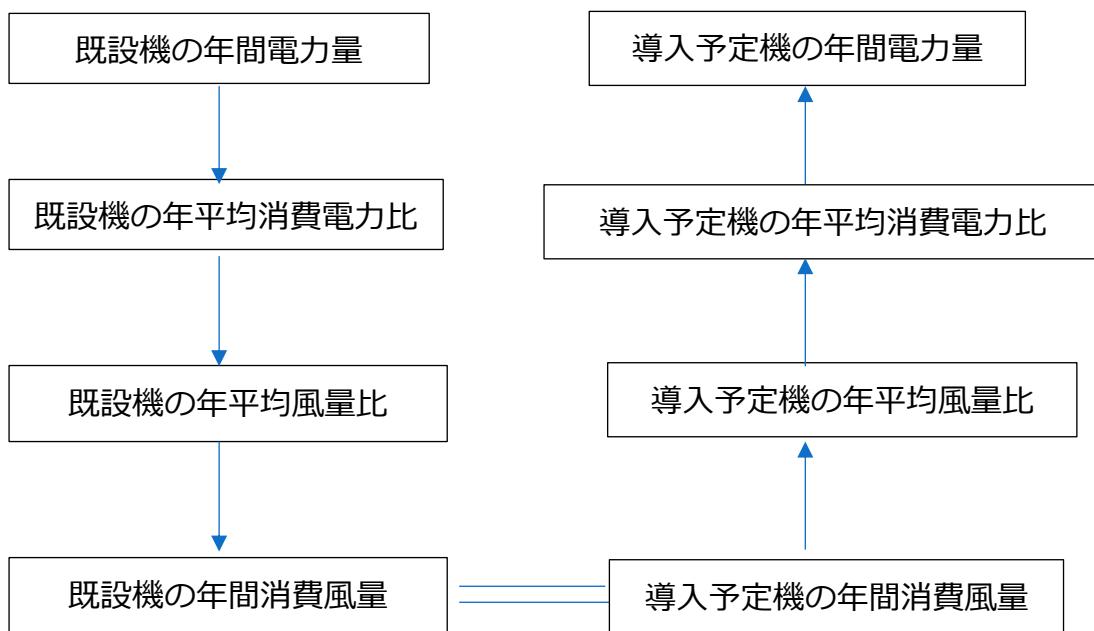


図 11. 導入機の電力量の求め方

以下、既設機の消費電力比の求め方、及び各制御方式について消費風量比と消費電力比の関係を求める方法を説明する。

A2.1 既設機の年平均消費電力比

既設機の年平均消費電力比は、A1 で求めた年間電力量から平均電力を算出し、定格消費電力に対する比率で以下の計算による。

$$k_{av1} = \frac{W_{av1}}{W_{R1}} \quad (5)$$

$$W_{av1} = \frac{E_1}{t} \quad (6)$$

ここで、 k_{av1} :既設機の年平均消費電力比 [—]

W_{av1} :既設機の平均電力 [kW]

W_{R1} :既設機の定格消費電力 [kW]

E_1 :既設機電力量 [kWh/年]

t :年間運転時間 [h/年]

A2.2 吸込み絞り + パージ制御およびその他の制御方式の消費風量比と消費電力比の関係

- 吸込み絞り + パージの風量比と消費電力比の関係は図 12 のように線形であり、風量比は下記の計算式で算出できる。パージ機能がある場合はパージ（減圧）が開始される点を風量比 0.4 に固定するとその時の消費電力比は 0.82 になるので、0.82 を境に計算式が変わる。

$$k_{av1} \geq 0.82 \text{ (82%)} \text{ の場合} \quad q_{av1} = \frac{k_{av1} - 0.7}{0.3} \quad (7)$$

$$k_{av1} < 0.82 \text{ (82%)} \text{ の場合} \quad q_{av1} = \frac{k_{av1} - 0.25}{1.425} \quad (8)$$

ここで、 k_{av1} :既設機の年平均消費電力比

q_{av1} :既設機の風量比

- ドライオイルフリースクリュー圧縮機のロードアンロード方式の関係式を以下に示す。

$$q_{av1} = \frac{k_{av1} - 0.25}{0.75} \quad (9)$$

- インバータ制御機の場合は、以下となる。

$$q_{av} = \kappa_{av} \quad (10)$$

A2.3 給油式ロードアンロード機の消費電を力比と消費風量比の関係

ロードアンロードの場合は、吸入弁の全開、全閉で容量調整を行うもので、レシーバ容量が大きいとロード、アンロードの時間が式(13)、

(14)に示すように長くなり一定時間内でのロードアンロードアンロードの回数が減少する。したがってアンロード時のページ(減圧放気)回数も減りページ中の電力量が削減でき省エネとなる。その効果は、レシーバ容量と圧縮機吐出量の比に大きく支配されるので、その比をレシーバ比として、これをパラメータとして消費風量比と消費電力比の関係を求め、その結果をシステムの容量制御特性として図12に示す。給油式スクリューのロードアンロード式の場合の関係式を以下に示す。

$t_R \leq t_c$ の場合

$$k = \frac{96 \times t_0 + 62.5 \times t_R + 25 \times (t_c - t_R)}{100 \times (t_0 + t_c)} \quad (11)$$

$t_R > t_c$ の場合

$$k = \frac{96 \times t_0 + 62.6 \times t_c}{100 \times (t_0 + t_c)} \quad (12)$$

$$t_o = \frac{\Delta P \times Vr1 \times 60}{(Q_o - Q_u) \times P_o} \quad (13)$$

$$t_c = \frac{\Delta P \times Vr1 \times 60}{Q_u \times P_o} \quad (14)$$

$$R = Vr/Qo \quad (15)$$

$$q = Qu/Qo \quad (16)$$

ここで κ : 消費電力比 [-]

t_0 : 吸入弁全開で吐出圧制御下限より同上限迄の昇圧時間 [s]

t_R : 吸入弁全閉でページ(減圧放気)している時間 30 [s] と想定

(給油式スクリュー圧縮機に固有の制御数値)

t_c : 吸入弁全閉で吐出圧制御上限より同下限までの降圧時間 [s]

ΔP : 全閉、全開時の圧力差、制御ディファレンシャル 0.1 [MPa]

V_r : 既設機のレシーバ容量 [m³]

Q_o : 圧縮機の定格風量 [m³/min]

Q_u : 消費風量 [m³/min]

P_o : 標準大気圧 0.1013 [MPa]

R : レシーバ比 [-]

q : 消費風量比 [-]

なお、式 (11) 、 (12) における係数の意味は以下の通り。

96 : 0.6→0.7 MPa-G の平均動力比

62.5 : 減圧中の平均動力比 ((100+25)÷2)

25 : 吸入弁全閉時の動力比 (推定値)

注 : 動力比の基準は 0.7MPa-G の定圧で全負荷運転している場合の動力を 100 としている

図 12. で、横軸の消費風量比は消費風量 Q_u と定格風量 Q の比であることに注意が必要である。

A2.4 導入予定機の消費電力量の算出

(1) 既存機の年平均消費電力比の算出

式 (5) を実施して、既存機の年平均消費電力比 k_{av1} を求める。

(2) 既存機の年平均消費風量比の算出

既存機の制御方式に従い次式を実行し、年平均消費風量比 q_{av1} を求める。

- 吸込み絞り+パージ制御 : 式 (7) 及び式 (8)
- 給油式スクリューロードアンロード制御 : 式 (11) 及び式 (12)

- オイルフリースクリューロードアンロード制御： 式 (9)
- インバータ制御： 式 (10)

(3) 導入予定機の年平均消費風量比の算出

(2)項で求めた q_{av1} より、式(16)を実行し、

既存機の平均消費風量

$$Qu_{av1} = q_{av1} \times Qo_1 \quad (17)$$

を得る。

これに年間の運転時間 t を乗ずれば年間消費風量（負荷）が得られる。この年間消費風量は、導入予定機でも共通であり、運転時間も同一なので、

導入予定機の年平均消費風量比は以下となる。

$$\begin{aligned} q_{av2} &= q_{av1} \times Qo_1 \times t \div (Qo_2 \times t) \\ &= q_{av1} \times (Qo_1 / Qo_2) \end{aligned} \quad (18)$$

(4) 導入予定機の年間消費電力量の算出

(2)項の場合と同様、導入機の制御方式に従い (2) 項に掲げた各式に式 (18)で得た年平均消費風量比 q_{av2} 変数とし、これを実行し年平均消費電力比 K_{av2} を求める。そして、導入予定機の年間消費電力量は次式で得られる。

$$E_2 = W_{R2} \times K_{av2} \times t \quad (19)$$

ここで、 E_2 ：導入機の年間電力使用量 [kWh/年]

W_{R2} ：導入予定機の定格消費電力 [kW]

K_{av2} ：導入予定機の年平均消費電力比 [—]

t ：運転時間 [h/年]

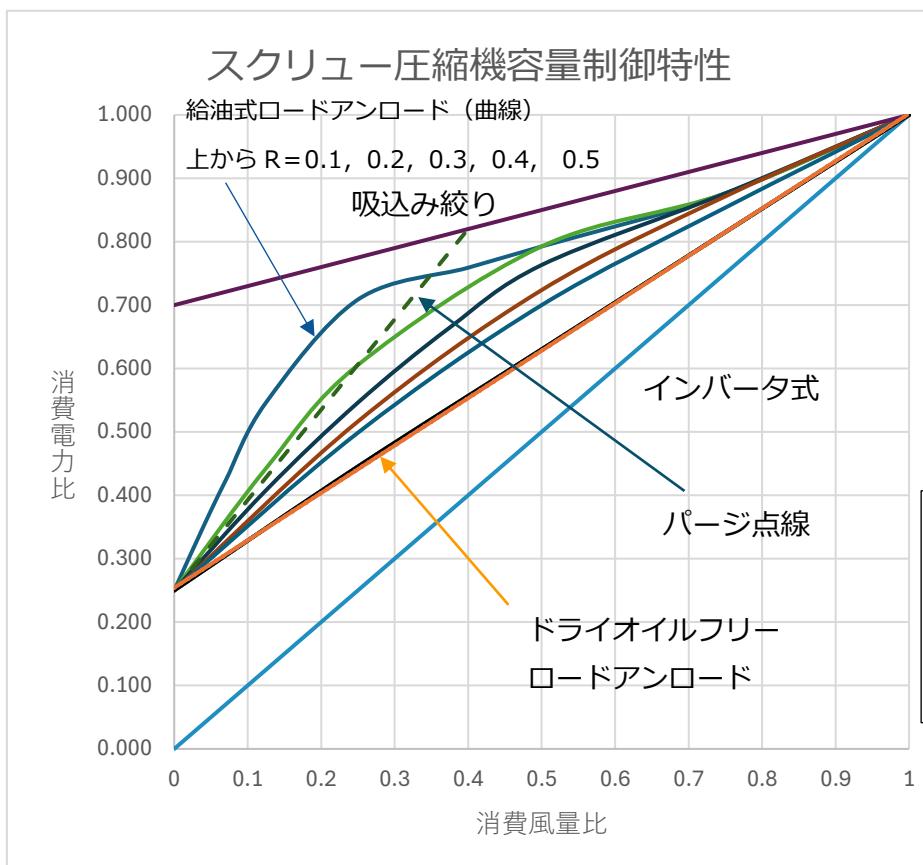


図 12. スクリュー式の容量制御特性

注

1. 図 12 に示す給油式スクリュー圧縮機のロードアンロード制御特性は、レシーバ容量以外にも、パージ（減圧）後の圧力、上下限の圧力差、無負荷動力等の影響を受けて変化する。これらの因子はメーカー毎に異なると思われるが、ここでは簡素化するためレシーバ容量以外は固定として計算している。よって図 12 に示す制御特性図は全てに適用できるわけではなく、一例としての意味合いとなる。従って本ツールで得られる計算結果は、CO₂削減量が過大とならないよう裕度を設ける必要がある。

固定値：運転上限圧力：0.7 [MPa-G]、圧力差：0.1 [MPa]

パージ時間：30 [s]、無負荷動力：定格負荷の 25%

また、図 12 の曲線も近似曲線のため図から消費電力比求めないこと。

2. 参考文献：松隈正樹著 「空気圧縮機」省エネルギーセンター

以上