平成 26 年度アジアの低炭素社会実現のための JCM 大規模案件形成可能性調査事業

インドにおける低炭素技術の適用促進のための実現可能性調査

平成 27 年 3 月

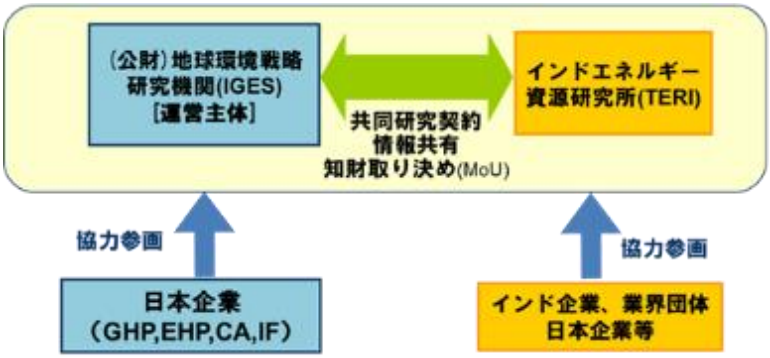
公益財団法人　地球環境戦略研究機関（IGES）

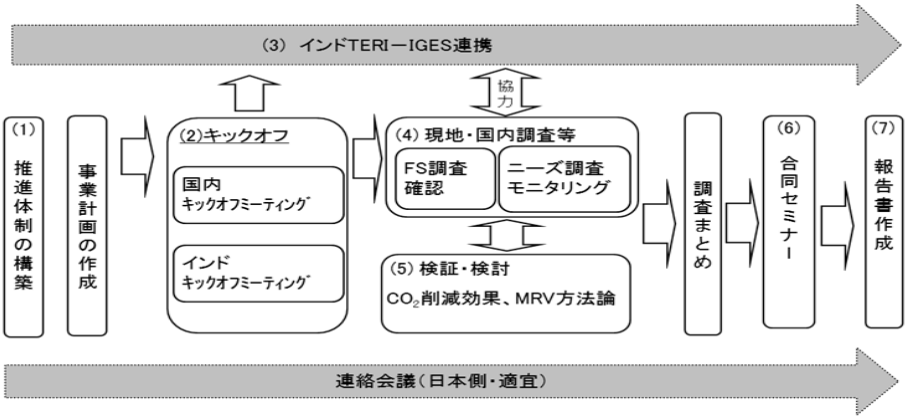
― 概要 ―

本事業は、（公財）地球環境戦略研究機関（IGES）と協力日本企業がこれまでインドのエネルギー資源研究所（TERI）や中小企業（SME）と築いてきた連携、および、昨年度まで約4年にわたり取り組んできたインド各地での取組などを背景に、低炭素化技術の1つである圧縮空気システム（CA）について、その導入・適用促進の実施を通したJCM大規模案件の発掘･形成を目的とし、その推進体制の構築、現地における導入可能性調査の実施、調査結果に基づく導入可能性の検討等をおこなったものである。これにより、世界最大級のエネルギー消費、GHG 排出国であるインドが有する温室効果ガス削減ポテンシャルを我が国の CO2 削減達成目標に活用するとともに、日本の優れた低炭素技術をインドへ普及させることで日本経済への貢献にもあわせて寄与したいとするものである。導入可能性調査については、インドでエネルギー需要が多い産業部門の企業を対象に、繊維業、鍛造業、鋳造業の企業において実施し、その調査結果を取りまとめた。

1．調査代表者　　公益財団法人地球環境戦略研究機関
2．外注先名　　インドエネルギー資源研究所（TERI)

［本事業体制と実施工程］





［導入可能性調査］

本調査では、インド側パートナーの TERI が選定したサイトにおいて、IGES と TERI が共同で、インドの 6 ヶ所の対象企業（工場）において実施可能性調査を実施、既存の圧縮空気システムについての現状調査、圧縮機のインバータ化等機器にかかるハード面のみならず、圧力損失や制御方法といった機器の運用等のソフト面の両面から、CO2 削減の可能性を調査し改善の提案をおこなった。

実施した対象企業の何れにおいても圧縮空気システム技術の導入による CO2 排出削減ポテンシャルがあることが分かった（表 1）。改善対策の効果は、企業ごとにその提案内容や各企業の現場環境・条件等によって CO2 削減効果が異なるが、概ね削減効果のポテンシャルは高いことが分かった。

とりわけ電力料金が安価なインドにおいては、ランニングコストが低く、かつ温室効果ガスの削減につながることから圧縮空気システムは比較的導入が容易な技術であると考えられ、クラスター展開等、普及拡大を目指すことで削減量は大きく見込める可能性が高い。

各調査先企業の機器に関するハード面での改善対策とその推定効果を以下の表にまとめた。ハード面での対策を打ちつつ、ソフト面で効果的な運用をおこなうことにより、より CO2 排出を低減することが可能になってくると言える。

［キャパシティ・ビルディング］

日本の圧縮空気システムの導入可能性調査は、実際にサイトを訪問し調査するものであるが、調査の際には現地サイトの関係者に対して、直接改善提案および運用などのアドバイス等を通じたキャパシティ・ビルディングも実施している。これはその技術に対する認識を促進し普及を図ることを目的としている。

また、上記のようにサイトレベルだけでなく、より広い対象に対してもワークショップやトレーナー向けトレーニングセミナー等を開催し、日本の圧縮空気システムの紹介とその最適運用に関するキャパシティ・ビルディング通じてその技術の紹介および省エネに関する認識の向上や普及を図りつつ、日-印間のネットワークの構築・拡大もおこなってきた。

今年度のワークショップでは、マハラシュトラエネルギー開発公社（Maharashtra Energy Development Agency（MEDA）, India）の協力を得ることができ、地元政府関係機関との新たなネットワークを構築ができたことは、今後の案件形成を検討する上で有益なことであった。

［事業化に向けた計画］

本年度実施した、圧縮空気システムの実施可能性調査の対象企業の何れにおいても技術の導入による CO2 排出削減のポテンシャルがあることがわかった。ただし、インドとは JCM の署名が未締結であることから、現時点ではプロジェクトとしては認可されない。そのため、本事業の下では JCM が締結された際には事業化に向けて取り組めるような調査や活動を実施、それと並行して、将来的に JCM を使わず自力で圧縮空気システムを導入できる企業があれば、導入を見据えた導入効果の測定等をおこなうことも検討する。

圧縮空気は、産業において、電力、ガス、水に続き 4 番目に有用性が高いと言われており、分野横断的な低炭素技術として、圧縮空気システムの改善を通じた省エネルギー化により GHG 排出量削減に高い効果が期待されるので、事業化に向け案件形成を検討していきたい。

表 1：導入可能性調査：各調査企業別　機器に関連する改善対策とその推定効果

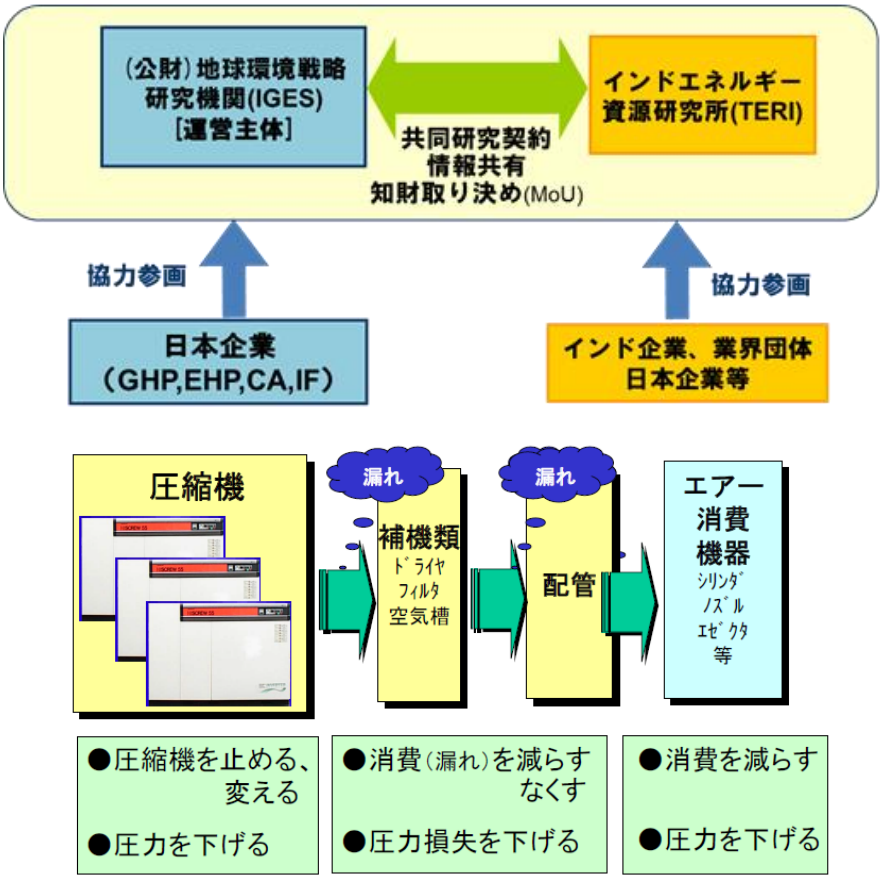
GHG排出削減を目的としたインドの選定サイトにおける圧縮空気システム改善のためのハードウェア／機器の導入に関する提案のまとめ

調査サイト名	ハードウェア／機器の導入に関するの提案	推定排出削減量（kWh／年）	推定排出削減量（Ton／年）	推定運転コスト削減額（Rs／年）	初期費用（日本国内市場）（千円）	推定投資回収期間（年）	CO2 1トン分の削減にかかる推定費用（千円／CO2 1トン削減）
Mahindra Hinoday Co. Ltd	Install Inverter A.C (NL-0)	308,160	287	1,848,960	7,000	1.9	24.4
	Install Inverter A.C (NL-1)	308,160	287	1,848,960	7,000	1.9	24.4
	Install Inverter A.C (NL-2)	256,543	239	1,539,259	5,000	1.6	20.9
	Install two stages A.C	391,500	384	2,349,000	30,000	6.4	78.1
	Install Booster	108,864	106	653,184	3,000	2.3	28.3
Ahmednagar Forging Co. Ltd.	Install Inverter A.C	350,000	343	2,362,500	10,000	2.1	29.2
	Install 2 stage A.C	130,500	128	880,875	10,000	5.7	78.1
Bombay Dyeing Co. Ltd.	Install Inverter A.C	60,830	56	334565	3,000	4.5	53.6
Arvind Textile Co. Ltd.	Install Inverter A.C	660,200	647	4852470	12,000	1.2	18.5
	Install high-efficiency drain trap	158,000	155	1161300	4500	1.9	29.0
Morarjee Textile Co. Ltd.	Install Inverter A.C	660,200	647	3961200	12,000	1.5	18.5
	Install Booster	109,000	107	654000	1,400	1.1	13.1
Raymond UCO textile	Install Inverter A.C	660,200	647	3631100	12,000	1.7	18.5
	Install high-efficiency drain trap	63,200	62	347600	1,800	2.6	29.0

事業説明書

本事業は、（公財）地球環境戦略研究機関(IGES)と協力日本企業がこれまでインドのエネルギー資源研究所（TERI）や中小企業（SME）と築いてきた連携、および、昨年度まで約 4 年にわたり取り組んできたインド各地での取組などを背景に、低炭素化技術の圧縮空気システム（CA）を導入、適用促進、および、それらの活動を通した JCM 大規模案件の発掘・形成を目的としている。

これにより、世界最大級のエネルギー消費、温室効果ガス（GHG）排出国であるインドが有する GHG 削減ポテンシャルを日本の CO2 削減達成目標に活用するとともに、日本の優れた低炭素技術をインドへ普及させることで日本経済への貢献にもあわせて寄与する。



本年度 IGES と TERI が実施した圧縮空気システムの実施可能性調査（FS）では、対象企業の何れのサイトにおいても、圧縮空気システム技術の導入による CO2 排出削減ポテンシャルがあることが分かった（表１）。具体的な改善対策の効果については、その提案内容や各企業の環境・条件によって CO2 削減効果は異なる。また調査では、コンプレッサーのインバータ化等、機器の導入を伴うハード面での改善だけでなく、エアー漏れの低減等、機器の運用に関するソフト面での改善においても、提案内容によっては初期投資費用

をあまりかけなくても対策により CO2 削減効果を得られること分かり、日本の圧縮空気システム技術の導入・運用の両面からの提案を通じて、インドにおける GHG 削減ポテンシャルをより高めることが可能になることが分かった。

また、ワークショップを通じた圧縮空気システム技術の紹介とその最適運用に関するキャパシティ・ビルディング通じて、技術の紹介および省エネに関する認識の向上や普及を実施。インドにおける当該技術への関心が高いことが分かった。

表１：導入可能性調査：各調査企業別　機器に関連する改善対策とその推定効果

GHG排出削減を目的としたインドの選定サイトにおける圧縮空気システム改善のためのハードウェア／機器の導入に関する提案のまとめ

調査サイト名	ハードウェア／機器の導入に関するの提案	推定排出削減量（kWh／年）	推定排出削減量（Ton／年）	推定運転コスト削減額（Rs／年）	初期費用（日本国内市場）（千円）	推定投資回収期間（年）	CO2 1トン分の削減にかかる推定費用（千円／CO2 1トン削減）
Mahindra Hinoday Co. Ltd	Install Inverter A.C (NL-0)	308,160	287	1,848,960	7,000	1.9	24.4
	Install Inverter A.C (NL-1)	308,160	287	1,848,960	7,000	1.9	24.4
	Install Inverter A.C (NL-2)	256,543	239	1,539,259	5,000	1.6	20.9
	Install two stages A.C	391,500	384	2,349,000	30,000	6.4	78.1
	Install Booster	108,864	106	653,184	3,000	2.3	28.3
Ahmednagar Forging Co. Ltd.	Install Inverter A.C	350,000	343	2,362,500	10,000	2.1	29.2
	Install 2 stage A.C	130,500	128	880,875	10,000	5.7	78.1
Bombay Dyeing Co. Ltd.	Install Inverter A.C	60,830	56	334565	3,000	4.5	53.6
Arvind Textile Co. Ltd.	Install Inverter A.C	660,200	647	4852470	12,000	1.2	18.5
	Install high-efficiency drain trap	158,000	155	1161300	4500	1.9	29.0
Morarjee Textile Co. Ltd.	Install Inverter A.C	660,200	647	3961200	12,000	1.5	18.5
	Install Booster	109,000	107	654000	1,400	1.1	13.1
Raymond UCO textile	Install Inverter A.C	660,200	647	3631100	12,000	1.7	18.5
	Install high-efficiency drain trap	63,200	62	347600	1,800	2.6	29.0

目次

第 1 章　調査の背景と概要
1.1　調査背景 ……1
(1) インド政府の JCM への対応 ……1
(2) インド政府の温室効果ガス削減方針と取り組み……1
(3) インドの概要 ……3
(4) IGES のインドにおける取り組み ……5
1.2　調査概要 ……6
(1) 調査の目的 ……6
(2) 調査期間 ……6
(3) 調査の手順 ……6
(4) 調査の実施体制 ……8
(5) 調査概要 ……9

第 2 章　FS 調査等の実施
2.1 圧縮空気システムの低炭素化の導入可能性検討 …… 10
(1) 圧縮空気システム …… 10
(2) 圧縮空気システムの CO2 削減のポイント…… 11
(3) 圧縮機の電力とコスト …… 12
2.2 調査結果 …… 12
(1) 調査対象工場 …… 12
(2) CO2 削減、環境改善の提案 …… 13
(2)-1 圧縮機を効率良く使う …… 14
(2)-2 ムダをなくす …… 18
(2)-3 環境を整える …… 21
(2)-4 配管と省エネ …… 22
(2)-5 換気対策方法 …… 26
(2)-6 レシーバタンクの簡易点検 …… 26
(2)-7 エネルギー監視 …… 27
(2)-8 計測診断の活用 …… 28
(2)-9 冷却水ポンプのインバータ化 …… 28
(3) 調査対象工場の CO2 削減、環境改善の提案…… 29
(3)-1 Raymond Denim Pvt. Ltd. (繊維業) …… 30
(3)-2 Morarjee Textile Ltd. (繊維業) …… 36
(3)-3 Arvind Pvt. Ltd. (繊維業) …… 42
(3)-4 Bombay Dyeing Ltd. (繊維業) …… 49
(3)-5 Ahmednagar Ltd. (鍛造業) …… 55
(3)-6 Mahindra Hinoday Ltd. (鋳造業) …… 60
(3)-7 その他：エネルギー監視を通じた CO2 削減への提案…… 70

(4) ワークショップ…… 75
(5) CA の MRV 方法論(案)……103
(5)-1 方法論の名称 ……103
(5)-2 方法論の概要 ……103
(5)-3 方法論において使用する用語解説 ……103
(5)-4 適格性基準 ……104
(5)-5 算定方法の選択 ……105
(5)-5-1 算定方法 1……105
(5)-5-1-1 削減排出量 ……105
(5)-5-1-2 計算表 ……107
(5)-5-2 算定方法 2……108
(5)-5-2-1 削減排出量 ……111
(5)-5-2-2 計算表 ……112
(5)-6 Project Design Document（案） ……113
2.3 結論・今後の進め方……119

参考文献……121

（参考資料編）

推進に関する協議結果……122
(1)第 1 回協議（キックオフ会議) ……122
(2)現地調査・ワークショップ ……123
(3)第 2 回協議（ラップアップ会議） ……127
(4)合同セミナー ……128

第 1 章　調査の背景と概要

1.1　調査背景

(1) インド政府の JCM への対応

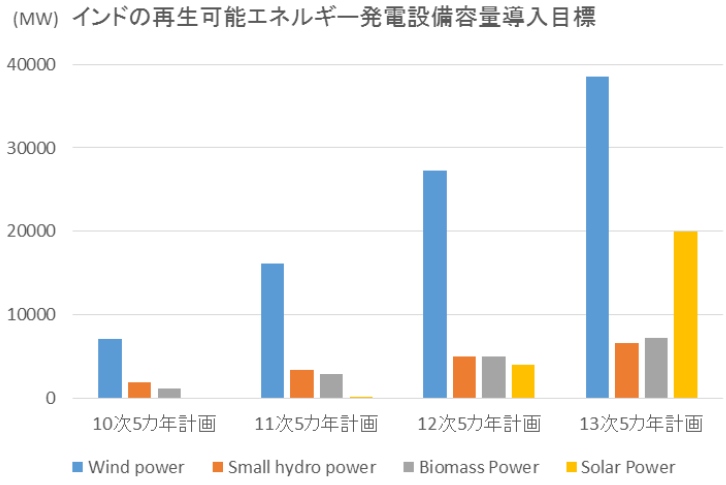
日本が推進している二国間クレジット制度（以下 Joint Crediting Mechanism: JCM）は、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）における新たな市場メカニズムに位置付けられるものとして交渉が進んでいる。カタール・ドーハ（COP18）においては、我が国が提案する JCM を含む各国の緩和策に関する様々アプローチに対する「枠組み」について作業計画が策定され、ポーランド・ワルシャワ（COP19）でも、実質的な議論が行われた。また、カンクン合意に基づき先進国が 2014 年以降に 2 年ごとに提出する隔年報告書内の共通報告様式が合意され、JCM によって達成された GHG 削減量が記載される。

本調査で対象とするインドは、2015 年 2 月現在、JCM 二国間署名には至っていないが、政府間対話が進行中であり近い将来署名される期待が大きい。署名された時点で、プロジェクトが即時対応できることを目指し、本調査は実施された。

2014 年 2 月には、IGES が本調査で連携している TERI と共同で“Workshop on Financing of Low Carbon Technologies in Indian Industry”をインド・ニューデリーで開催し、日本、インド関係者が参集し、インドにおける JICA の省エネ融資や、インド中小企業開発銀行（Small Industries Development Bank of India：SIDBI）等と連携した日本の低炭素技術の導入の議論がなされた。そのなかで、インド側からは JCM に高い関心が寄せられ、早期署名を求める意見も出され、日本の低炭素技術に対する高い関心が寄せられた。

(2) インド政府の温室効果ガス削減方針と取り組み

インドの2010年の温室効果ガス排出量は17.4億トンで、世界のGHG全排出量の5.6%を占め、世界第3位である。2035年には、排出量が2倍以上に増大すると予想されているが、2020年までに2005年比で20～25%削減するという自主目標を表明している。2012年に新・再生可能エネルギー省が発表した第12次5カ年計画（2012年4月～17年3月）では国として再生可能エネルギーを発展させることが明確に打ち出され、風力・太陽光発電に重点をおいた計画が示されている。



出典:Ministry of New and Renewable Energy Government of India” Renewable Energy in India: Progress, Vision and Strategy”　図 1-1　インドにおける再生可能エネルギー発電設備容量導入目標

インドは、2008 年 6 月 30 日に、気候変動に関する国家行動計画（National Action Plan on Climate Change：NAPCC）を発表し、具体的な取り組みに着手するなど、温暖化に関する国内対策を積極的に展開している。国家行動計画は 8 つの優先国家事業（①太陽エネルギー、②エネルギー効率の改善、③持続可能な居住環境、④水の保全、⑤ヒマラヤのエコシステムの維持、⑥「緑のインド」、⑦持続可能な農業、⑧気候変動についての戦略的知識プラットフォーム）に焦点を当てており、太陽エネルギーの国家事業が卓越した位置を占めている。詳細を表 1-1 に示す。

表1-1　インドの温室効果ガス排出関連指標（インドNAPCC 概要）

分野	概要
1. 太陽エネルギー	・太陽エネルギーの割合（太陽光発電を含む）を著しく引き上げることを目的として、低価格化、簡便化を目的とする大規模な研究開発を実施
2. エネルギー効率改善	・2001 年の省エネルギー法に加え以下の 4 つの新規事業を開始する 1) エネルギー集約産業・設備における取引可能な省エネ証書を用いた市場メカニズム　2) 高効率機器へのシフトを加速するために高効率機器の価格を下げるための革新的手法 3) 全セクターで DSM プログラムへの資金供給を行うメカニズム 4) 省エネ促進のための財政手段
3. 持続可能な居住空間	・以下の 3 事業を通じ、省エネ促進を都市計画・都市再開発の不可欠な要素とする 1) 省エネビル条例の対象を建替えにも拡大 2) リサイクルの促進、ゴミ発電を含む都市廃棄物管理、大規模な研究開発プログラム　3)都市計画の改善と公共交通へのモーダルシフト
4. 水資源・統合的水資源管理	・インフラ、危機管理、早期警戒システムを含む適応策 ・規制措置により水利用効率を 20%改善する
5. ヒマラヤ生態系保全	・ヒマラヤの氷河・山岳生態系保全のための管理方策を採る ・ヒマラヤを共有する南アジア諸国との情報交換 ・コミュニティによる生態系管理の促進
6. 「グリーン・インディア」	・600 万ヘクタールの植林から開始し、徐々に全ての荒廃林地へ範囲を拡大する。
7. 持続可能な農業	・耐暑性作物の開発　・天水農業（rain-fed agriculture）の生産性向上 ・気候変動を監視・評価し栽培方法等を助言する農業研究システム
8. 気候変動に関する戦略的知識	・気候科学研究基金の創設 ・気候変動の諸側面についての研究への資金提供

出典：インド政府首相府「国家気候変動行動計画（National Action Plan on Climate Change ： NAPCC）」（2008 年6 月30 日）

なかでも省エネ分野において NAPCC の一環として 2011 年 4 月に開始した省エネ達成認証スキーム（Perform, Achieve and Trade: PAT スキーム）は、産業部門のエネルギー効率向上に向けた革新的な施策として国内外から大きな関心を集め、新たな省エネ、GHG 排出量削減が期待されている。PAT は NAPCC に示された温暖化対策の一環として積極的に展開されており、火力発電、鉄鋼、セメント、肥料、製紙・パルプ、鉄道、塩素アルカリ、アルミニウムおよび繊維の 9 産業部門、700 を超える事業所で、効率改善目標が設定されている。2012 年 4 月 1 日からモニタリング（計測）・ベリフィケーション（検証）期間に移行した。

2011年時点で、インドには温室効果ガス排出源の規制のみに対処する特定の法律は存在していない。ポストストックホルム期間に、増加し続ける温室効果ガス問題に対処するため、インドは、環境法令を施行している。具体的に関連法令としては、1986年環境保護法、1981年大気汚染防止法、1980年森林保護法、2001年省エネルギー法、2003年電気法などである。

2001年に制定された省エネルギー法は、インド電力省エネルギー効率局（BEE）により、省エネ対策が義務付けされ、2007年からは指定事業者に対しエネルギー監査が義務付けられた。

また、近年インドは経済成長著しい中国と同様にエネルギー需要量が急増しており、2035年には2008年の2.5倍のエネルギーを需要する見通しであり、インドの経済発展を持続するためには、適正な価格で必要とされるエネルギーを入手することが重要であると考えられる。インドは、豊富な石炭や石油をもつものの、急増する需要に供給が追いつかず、自給率は91%(1971年)から75%(2008年)と低下傾向にある。（出典：IEA（2010）" Energy Balances of non-OECD countries", IEA（2010）" Energy Balances of OECD countries"）

さらに電力供給体制が脆弱であることから慢性的な電力不足も深刻化しており、電力部門の改革や再生可能エネルギーの開発などのエネルギー問題と電力供給の安定化に同時に取り組むことが求められている。インドのエネルギー政策の基本方針、包括的なエネルギー政策として、2006年8月に総合エネルギー政策（Integrated Energy Policy 2006）でエネルギー分野における長期目標統括して提示しており、資源の持続可能性、エネルギーの使用と供給、安全保障、アクセシビリティーと可用性、価格設定、効率性、環境問題等の項目に言及し、主要な基本課題、省エネルギー、エネルギー利用の効率化、再生可能エネルギーの開発、エネルギー価格の合理的な設定の重要性が強調されている。

(3) インドの概要

インド共和国（Republic of India）は南アジアのインド半島上に位置する。東はベンガル湾、西はアラビア海、南はインド洋に面しており、その面積は328.7 万平方キロメートルである（パキスタン、中国との係争地を含む）。北はアフガニスタン、パキスタン、中

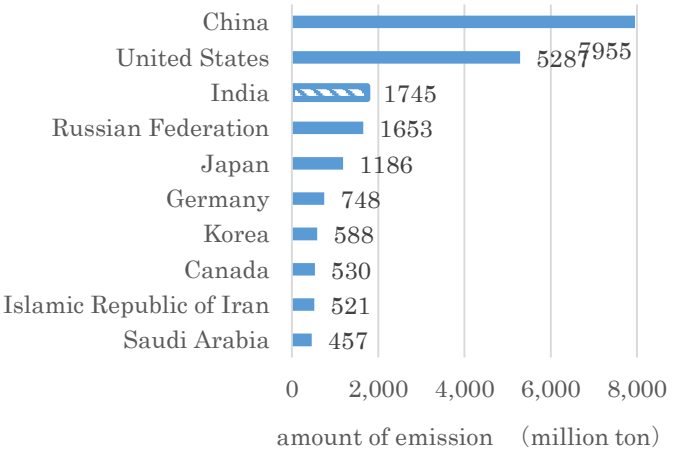
国、ブータン、ネパールと、東はミャンマー、バングラデシュと国境を接している。またインド半島と海峡を隔ててスリランカが存在している。国土は山岳地帯、インダス・ガンジス平野、砂漠地帯、南半島部の4つの区分に分けられる。首都はニューデリーである。

2001 年国勢調査によれば2001 年3 月時点の人口は10 億2,800 万人であり、男性が5 億3,210 万人、女性が4 億9,640 万人である。1991 年から2001 年の平均年間人口増加率は1.93%で、人口の多さは中国に次いで世界第2 位である（2010 年2 月現在の推計値は11億7700 万人）。粗出生率（人口1，000 人当たり出生数）は24.8、粗死亡率（人口1，000 人当たり死亡数）は8.9 であるため、人口増加率はやや鈍化するものの、今後も右肩上がりで人口が増加し、2015年には中国を抜き、2030年には14.8億人、2050年には16.1億人と増勢が続くと予想されている（UN DESA data,2009）。人種や言語も多様であり、宗教別人口では、ヒンドゥー教80.5%、イスラム教13.4%、キリスト教徒2.3%、シク教徒1.9%、仏教徒0.8%、ジャイナ教徒0.4%となっている。また22 の言語が公用語として認められており、植民地時代から英語も広く使用されている。古代文明の1つであるインダス文明が花開いた地であり長い歴史を持つが、19 世紀に英国の植民地となり、約100 年間英国による支配が続いた後、1947 年に独立した。独立の際にヒンドゥー教徒とイスラム教徒の間で対立が生じ、インド（ヒンドゥー教徒中心）とパキスタン（イスラム教徒中心）で分離独立という形をとることとなった。

日本とは1952 年に国交を樹立し、インド国内の強い親日感情にも支えられながら友好関係を維持してきた。

インドは近年、急速な経済成長を遂げつつあり、図 1-2 に示すように世界第三位のエネルギー消費、温室効果ガス排出国であるとともに、大きな削減ポテンシャルを有している。

また、日本貿易振興機構（ジェトロ）によると、インドには 1 千社を超える日本企業が進出しており、省エネ型の工業機械や空調設備等の導入には、協力しやすい体制にあるといえる。経済成長が進むインドに対し、早期に日本の優れた低炭素技術を導入することは、インドの温室効果ガス削減に寄与するばかりでなく、日本経済の活性化につながる可能性もある。



出典: International Energy Agency (IEA) - CO2 Emissions from Fuel Combustion Highlights (2013 Edition) - CO2 emissions: Sectoral Approach (2011)データを元に IGES 作成

図 1-2　世界の温室効果ガス排出量（上位 10 ヶ国）

(4) IGES のインドにおける取り組み

IGES が 2010 年度から 2013 年度までの 4 年間において、地球規模課題対応国際科学技術協力事業（SATREPS）（JST/JICA）の支援のもと、インドエネルギー資源研究所（TERI）と共同で、グジャラート州、マハラシュトラ州、チャンディガール連邦直轄領の乳業、鋳造業等の中小企業（Small Medium-sized Enterprise: SME）を中心に、ガスヒートポンプシステム（GHP）、電気ヒートポンプシステム（EHP）、誘導溶解炉（IF）、圧縮空気システム（CA）のハード機器導入や改善活動、キャパシティ・ビルディングなどのソフト分野での適用促進を実施してきた。本事業では、インド側の強い要望により、CO2 削減ポテンシャルが高く、地域に多数存在している SME を対象とした。

導入対象技術は、日本側で CO2 削減効果の大きいリープフロッグ技術に焦点をあて技術の抽出を行い、さらに、インド側でもエネルギー消費量の大きいプロセス技術及び工場セクターのニーズや適用可能な部門等から日本のエネルギー効率の良い技術を抽出し、日印双方から抽出した技術をベースに、共同で技術の選定をおこなった。選定にあたっては日本の主要な低炭素技術を有する企業の専門家らが現地調査を行い、現地のニーズ及び適用可能性を調査した結果を参考とし選考した。

日本からの支援として、技術導入時に導入機器メーカから担当者をスーパーバイザーとして派遣し、技術の導入並びに運転が円滑に実施できるよう協力を依頼してきた。

また、実際に低炭素技術を適用した SME において、その適用効果を検証するためにエネルギー消費データなどの計測も実施した。

ソフト分野での適用促進においては、インドでは関係者を参集したセミナーを開催することで、強い関心を示す SME などの発掘を行い、更に IF では 2013 年 12 月に TERI 研究員、SME のマネージャーを日本に招聘し、改善活動に関する知識の習得及び日本の中小鋳造工場の現状視察を行うとともに、IGES－TERI 間での事業内容並びに今後の調査に関する協議などを正式に合意した。加えて 2014 年 3 月には、IGES、アジア太平洋地球変動ネットワーク（APN）センター、兵庫県主催の国際シンポジウム「新興国への低炭素技術の適用促進について」（兵庫県神戸市）を、インドから TERI のディレクター、研究に参画している SME の一つである鋳造会社の社長を招聘し、日本企業専門家を交えて開催した。

現在、事業自体は終了しているが、日本側企業の協力体制及びインド側の TERI、SME との連携は維持しており、エネルギー消費データ等の管理や制御に関するアドバイス等、現地でのフォローアップ活動は継続して TERI と共同で実施している。

上記において IGES で実施した調査結果によると、表 1-2 に示すとおり、対象とした施設レベルで 50 - 340 CO_2-t/年、産業セクター全体で 8,000 - 400,000 CO_2-t/年の削減ポテンシャルが推計されており、温室効果ガスの削減が大きく見込まれる可能性がある。稼動のエネルギーコストに関しても大きく削減され、イニシャルコストを短期間で回収しうる可能性は十分にあり、導入されやすい環境にある。とりわけ、今回調査対象とした CA 導入での CO2 削減量 1t 当たりの初期投資コストは低く、費用対効果が大きい。

また、インドの企業の 80%以上にあたる約 300 万社が中小企業であり、GDP の約 60%が中小企業と直接・間接的に関わっているとも言われている。そのため、本調査においては、工場全体、ひいては地域の工場に広く展開されることを目指し、汎用機器であり、CO2 削減ポテンシャルが大きい CA のインバータ技術および周辺設備の改善もあわせた低炭素化技術の導入について調査を行った。

表 1-2　インドの温室効果ガス削減効果及び導入費用

			GHP	EHP	IF	CA
削減効果（施設レベル）	炭素	CO_2 t y^{-1}	58	51	343	208
	エネルギーコスト	1000 Rs y^{-1}	−6	1250	2550	1456
		1000 Yen y^{-1}	−10	2113	4310	2461
	一次エネルギー	MWh y^{-1}	300	246	1637	224
削減効果（産業セクター）*	炭素	CO_2 t y^{-1}	8000	60000	400000	300000
	エネルギーコスト	mRs y^{-1}	−1	1000	3200	
		mYen y^{-1}	−2	1690	5408	
	一次エネルギー	GWh y^{-1}	43	324	2057	
導入費用（施設レベル）		mYen y^{-1}	8	27	−	5
					レート（2014.7.1	1.69

*: GHPは精密鋳造業、EHPは乳業、誘導溶解炉は砂型鋳造業、圧縮空気システムは鍛造業のそれぞれの産業についてインド全土で適用した場合の推計効果

IGES and TERI, 2014. *Research Partnership for the Application of Low Carbon Technology for Sustainable Development (ALCT)*, eds Shiga, Y., Rabhi, A., Ghosh, A. M., Sharma, G., Tachibana, M., Hong, Y., and Suzuki, Y., IGES Kansai Research Centre, Kobe, Japan.

1.2　調査概要

(1) 調査の目的

本調査では、IGES と協力企業が今までインドの TERI、SME と築いてきた連携並びに昨年度まで約 4 年にわたり取り組んできたインド各地での取り組みなどを背景に、低炭素技術の CA のハード技術（インバータタイプ）、圧力損失や制御方法などのソフト面での改善を導入、適用促進を実施し、JCM 大規模案件の発掘･形成を目的とする。これにより、世界最大級のエネルギー消費、GHG 排出国であるインドが有する温室効果ガス削減ポテンシャルを我が国の CO_2 削減達成目標に活用するとともに、日本の優れた低炭素技術をインドへ普及させることで日本経済への貢献にもあわせて寄与する。

(2) 調査期間

平成 26 年 9 月 5 日から平成 27 年 3 月 20 日

(3) 調査の手順

本調査は、図 1-3 の流れに沿って下記に詳細を示す(1)推進体制の構築から(7)報告書作成までを実施する。

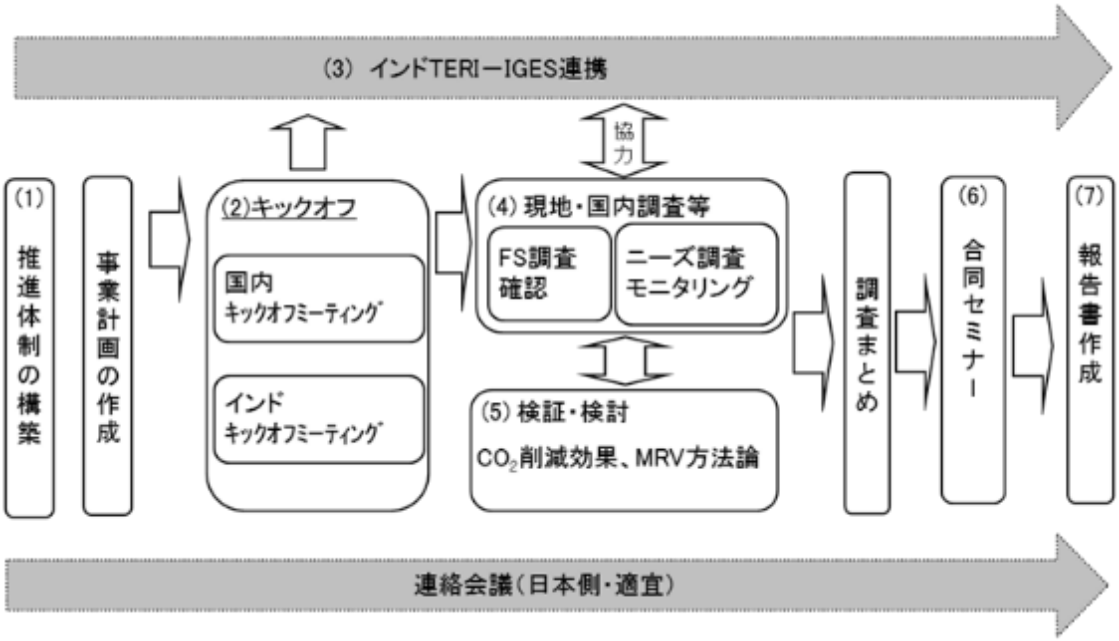


図 1-3　調査の流れ

(1) 推進体制の構築

国内の調査体制として、調査の進捗等の連絡／調整を図るため、IGES 及び協力企業との間で連絡会議を設置し、必要に応じ、打ち合わせ、会議を開催する。

(2) キックオフミーティング

TERI と IGES、双方の関連企業において、本調査に関する協力体制を強化するとともに、日本及び現地にて、キックオフミーティングを開催し、調査の内容を共有する。

(3)インド TERI と IGES 間の連携

TERI-IGES 二者間では、2010 年 5 月から 2014 年 3 月までの約 4 年間、SATREPS において、ハード機器導入や改善活動、キャパシティ・ビルディングなどのソフト分野での適用促進の事業を実施してきた。

この連携及び関連企業の協力のもと、現地調査やワークショップに取組み、低炭素技術の導入、適用促進を検討する。

(4)調査

1) FS 調査の確認、モニタリング

前述の通り、CA については、既にインドにおいてパイロット事業が先行しておりモニタリングなど協力が進んでいる。これに加え本調査にて、経済性の確認及び GHG 削減量の検討を加え、上記のクラスター展開の早期導入を目指す。

2) ニーズ調査

CA について、他地域や SME 以外の大企業など対象を拡大させて適用が可能かなどの他のニーズについてもあわせて調査を実施する。

(5) MRV 方法論(案) 、PDD(案)の策定

本調査では、前述した通り、パイロット事業での実績があるので、既に CO_2 削減量やエネルギー使用量などの調査は行っており、JCM の方法に沿った MRV、PDD を作成するための素地は得つつある。これに加え、今回の調査結果、開発済の MRV 方法論を参考に、CA の MRV 方法論(案)を策定する。この案は JCM ガイドラインに従い策定し、モニタリング項目、手法、手段等を含む。なお、検討にあたっては、IGES が取り組む他のプロジェクトとも連携する。

時期に関しては、MRV（案）については、環境省からの指示があれば即座に JCM 合同委員会へ提案できるよう準備する。

また、PDD 案については、環境省からの指示があれば即座に JCM 合同委員会が選定した「第三者機関」又は左記に準ずる者に「妥当性確認」できるよう準備する。

(6)合同セミナーの開催

調査結果を取りまとめ、調査結果や今後の調査に向けた意見交換を行うため、現地にて、関係者及び企業関係者等の参加による合同セミナーを開催する。

(7)報告書作成

調査結果及び合同セミナー等での検討結果等について取りまとめた報告書を作成する。

(4) 調査の実施体制

本調査は、図 1-4 の調査実施体制に基づき、IGES-TERI 連携の下、日本側企業とインド側企業の協力を得て実施する。

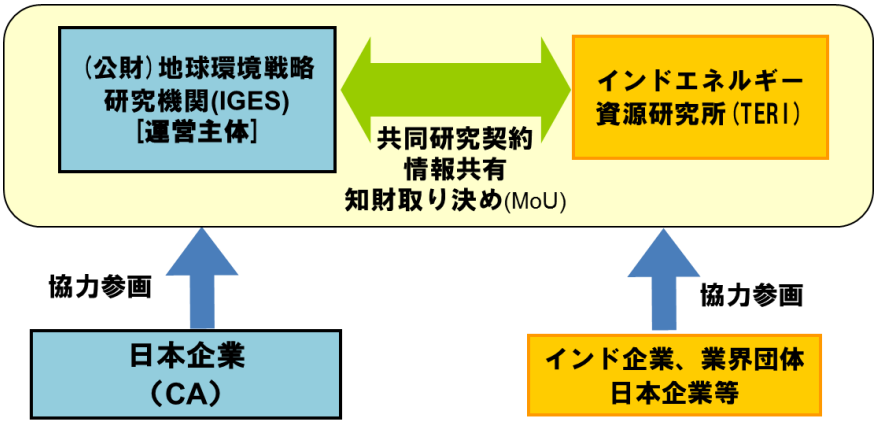


図 1-4　調査実施体制

(5) 調査概要

本調査は、図 1-5 の調査スケジュールのとおり、前述(3)調査の手順に示した(1)推進体制の構築から(7)報告書作成までを実施し、連絡会議や現地出張も行う。現地出張については、10 月に TERI と現地企業を訪問しヒアリング、モニタリングの実施及びワークショップを開催し、2 月には現地での報告会並びに今後の活動に関する協議を実施する。

	2014									2015		
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
推進体制構築					―	―						
事業計画策定					―	―						
TERI-IGES連携	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CA調査/検討				-	-	-	-	-	-	-		
MRV方法論(案)の策定				-	-	-	-	-	-	-		
キックオフ、合同セミナー						●（日）	●（印）				●（日印）	
報告書作成										―	―	●
連絡会議							●	●	●		●	●
現地出張(調査/報告)							●				●	

図 1-5　調査スケジュール

第 2 章　FS 調査等の実施

2.1 圧縮空気システムの低炭素化の導入可能性検討

(1) 圧縮空気システム

調査対象として選定した圧縮空気システムでつくられる圧縮空気は、電気、ガス、水道に次いで産業界における第４の汎用的なインフラであるといわれている。その一方で、最も非効率的なエネルギーでもあり、一般的に圧縮空気システムは十分な管理がされておらず、結果としてさまざまなロスが生じている。標準的な圧縮空気システムの性能分析では、圧縮空気は効率的に利用されておらず、圧縮空気の 20%に相当する漏れがあることが示されている。オリフィス、調整弁、供給バルブ、接合部等からの圧縮空気の漏れが、圧縮空気システムを低効率にしている主因である。老朽化した配管は腐食や内部抵抗の増大によって空気の漏洩に付加してエネルギー損失を増大させる。漏洩が大きいため、必要量の 20%も余分な空気を圧縮しなければならず、無駄な圧縮のためのエネルギーが消費されている。

また、圧縮空気の不適切な使用により大量のエネルギーが無駄に消費されている。通常、発生した圧力は特定エリアにおける圧力要求に関係なく、すべてのエリアで同じである。

ほとんどのインドの製造業では、通常、圧力または流量制御装置を使用していない。圧縮機設備に適合しない貧弱な環境や、メカニカルな要素、たとえば放出弁または吸気弁の故障、ピストンリングの摩耗、吸込み側フィルタの詰まり等や他の要因により、比電力消費もまた高い。さらに、圧縮空気配管には通常圧力損失がある。これらの圧力損失が大きいと工場用途に必要な最低圧力を確保するためにより高い圧力に空気を圧縮する必要があり、コンプレッサーの負荷が大きくなりまたエネルギー消費も大きくなる。圧縮機をより高い圧力で使用することは、機器設備の寿命を短くする可能性もある。

圧縮空気システムは、図 2-1 に示すとおり、空気圧縮機、レシーバ、ドライヤ、フィルタ、配管、アクチュエータ（使用端デバイス）要素から構成されている。

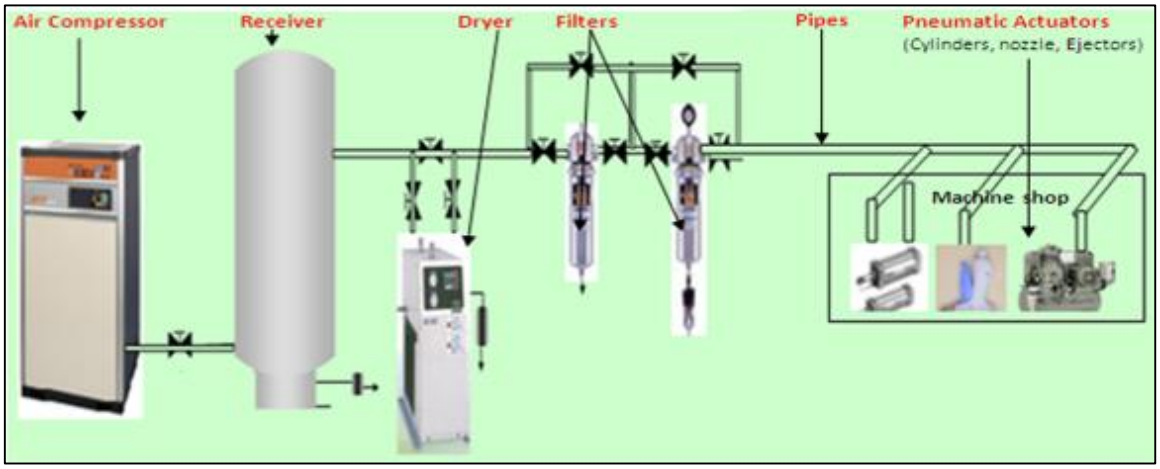


図 2-1　圧縮空気システムの概要

図 2-2 に示す供給端（空気圧縮機）から需要端（使用端）間のさまざまなポイントにおいて、圧力損失に起因し圧縮空気システムにおけるエネルギーロスが生じる。したがって、圧力損失の削減が、エネルギー削減に大きく寄与し、最終的に CO2 削減へとつながると考えられる。

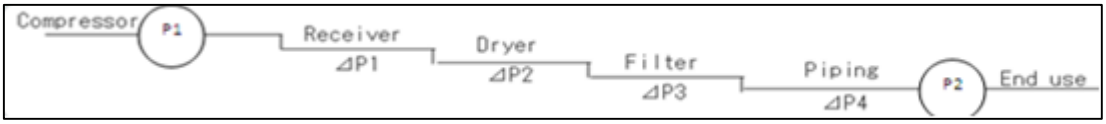


図 2-2　圧縮空気システムにおけるエネルギーロスのイメージ

(2) 圧縮空気システムの CO2 削減のポイント

圧縮機設備の CO2 削減には、使用エネルギーを削減すれば良いので、動力の要素となる圧力と消費を減らす。また、漏れや圧力損失を低減すれば有効なエネルギーを使うことができる。

以下は空圧系を改善する 3 つのポイントである。

1.消費量を下げる（無駄の排除、漏れの削減など）

2.運転圧力を下げる（分圧化や損失の削減など）

3.圧縮機システムの最適化（効率よく使う）

詳細を図 2-3 に示す。

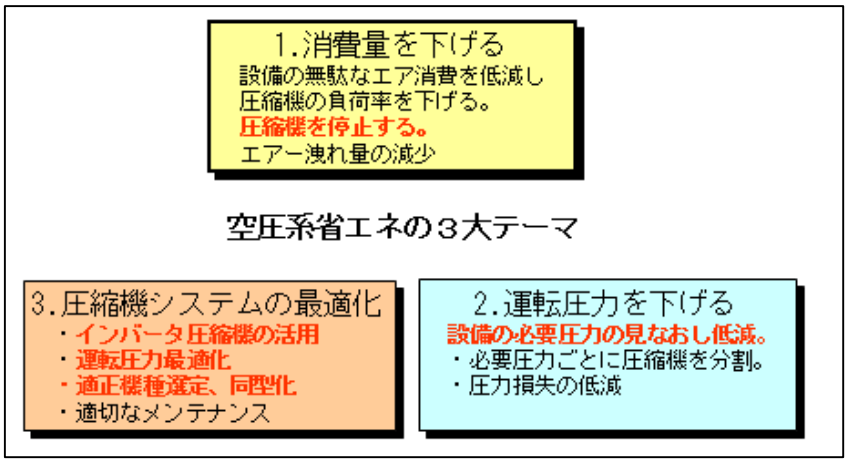


図 2-3　圧縮空気システムの空圧系における CO2 削減 3 つのポイント

圧縮空気システムの CO2 削減のチェックリストを下表 2-1 に列挙する。

表 2-1　圧縮空気システムチェックリスト

- 複数台使っているが制御がバラバラである
- 負荷変動が激しい
- 圧縮機に対してレシーバタンクの容量が小さい

・使用空気量に対してエアー配管が細い、長い
・使用している圧力が高い
・増圧弁が使われている
・減圧弁が多く使われている
・コンプレッサーが老朽化している
・工場や設備が老朽化しており、漏れが多い
・圧縮機のサイズがバラバラでバランスが悪い

このリストを確認し、状況を改善することで CO2 削減につなげることができる。

(3) 圧縮機の電力とコスト

工場で消費するエネルギーは、モータ使用機器が大きく、その中でも圧縮機で消費される電力は、全体の約 15～25%を占めるといわれている。標準的なサイズ(75kw 相当)で消費するエネルギーの大部分（約 84%）は電力コストで、残りの約 9%がメンテナンスコスト、7%が圧縮機本体や据付設置工事などのイニシャルコストである。

そこで、圧縮機のコスト・原単位を考えると、空気圧縮機の場合、原単位は動力と空気量の比であり、電力量計（Watt meter）とともに空気流量計(Air flow meter)を取り付けて原単位管理することが重要である。

原単位管理には、1 M3 あるいは 1 CFM あたりの単価を見る方法と、比動力管理を行う方法があり、下図 2-4 の方法で算出する。

・空気 1 M3 あるいは 1 CFM あたりの単価(1M3 あたり 2 円などが標準)
・比動力の単位は kW/M3/min あるいは kW/CFM(6～7kW/M3/min 前後が良い)

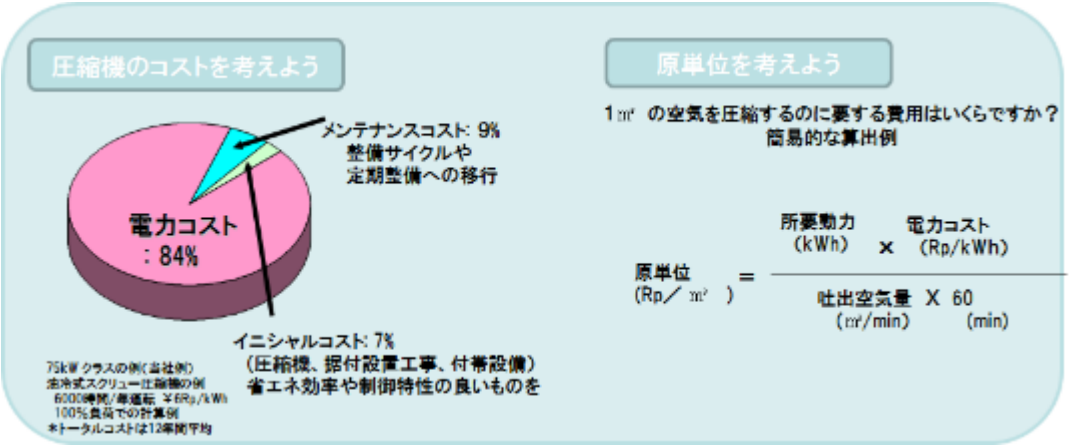


図 2-4　圧縮空気システムのコストの考え方

2.2 調査結果

(1) 調査対象工場

調査は、繊維業 4 社、鍛造業 1 社、鋳造業 1 社において実施した。

繊維業 4 社は、インドの PAT スキームにおいて、選ばれた 9 つの産業部門の 1 つであり、エネルギー効率向上に向けた革新的な省エネ、GHG 排出量削減対策が期待されている。また、鍛造、鋳造業は従来、エネルギー需要が多いことから、IGES と TERI が共同で調査をしてきた産業部門であることから選定した。

表 2-2　調査対象工場の概要

Date	Company (industry sector)	Places
Oct.6th (Mon.)	Kick off meeting with TERI Feasibility study at Raymond Denim Pvt. Ltd. (Textile).	Nagpur
Oct. 7th (Tue.)	Feasibility study at Morarjee Textile Ltd. (Textile)	Nagpur
Oct. 8th (Wed.)	Feasibility study at Arvind Pvt. Ltd. (Textile)	Ahmedabad
Oct. 9th (Thu.)	Feasibility study to Bombay Dyeing Ltd. (Textile)	Pune
Oct. 10th (Fri.)	Feasibility study at Ahmednagar Ltd. (Forging) Feasibility study at Mahindra Hinoday Ltd. (Casting)	Pune
Oct. 11th (Sat.)	Work shop Wrap up meeting with TERI	Pune

対象地域は、インド中西部マハラシュトラ州ナーグプル、プネ及びインド西部グジャラート州アーメダバードである。詳細は表 2-2 に示す。

(2) CO2 削減、環境改善の提案

本調査で訪問した工場においては、以下に列挙するいずれかの方法での CO2 削減を伴う環境改善を提案する。この対策の CO2 削減効果は、提案する内容によって初期投資費用を伴うが、うまく対策を行うことができれば、費用は最小でも大きな効果を得ることができる。

1. 圧縮機を効率良く使う
   - ・吐出圧力を下げる
   - ・インバータ圧縮機の有効活用
   - ・Centrifugal＋スクリュー圧縮機の組み合わせ
   - ・ブースター圧縮機の採用
   - ・二段圧縮機の採用
2. ムダをなくする
   - ・漏れの低減～まず現状調査から
   - ・埋設配管の廃止～配管を地上に出す
   - ・インタークーラ、アフタークーラからのブローを止め、エアーのブロー量を削減するために高効率のドレントラップを採用する

・効果的なブローガンの採用、ブローガンの改善
・アクチュエータにエアーセイビングバルブを採用
・省エネカプラの採用

3. 環境を整える
・FRESH、COLD、DRY の環境
・ドレン処理装置の設置
・プレ吸入フィルタの定期的な清掃
4. 配管と省エネ
5. 圧縮機室内の温度上昇対策…換気対策方法
6. レシーバタンクの簡易点検
7. エネルギーモニタリング
・監視システムの採用
8. 計測診断技術の活用
9. 冷却用ポンプのインバータ化

(2)-1 圧縮機を効率良く使う

➢吐出圧力を下げる

図 2-5 に示すとおり 1 段圧縮機の場合、現状の末端で 7Bar であるところを 1Bar 下げたスクリュー圧縮機では 8%ものエネルギー削減が可能である。

工場で使用される空圧機器は必ずしも高い圧力で使用されるとは限らない。できるだけ低い圧力で使うようにするとエネルギー消費が少なくなる。

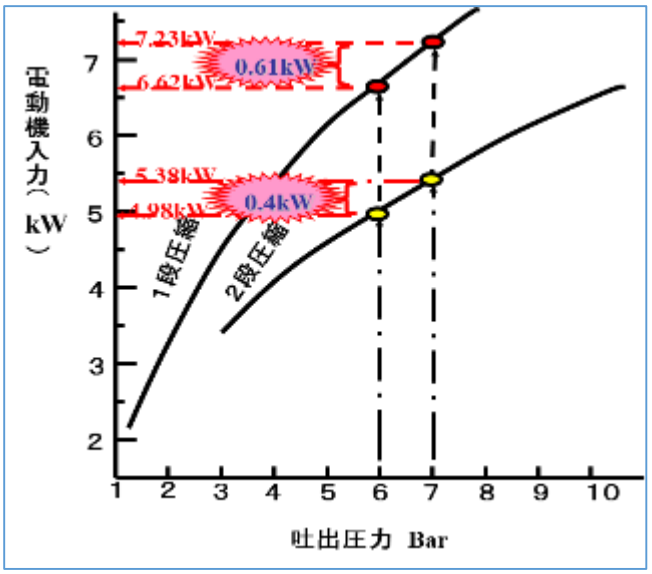


図 2-5　圧縮空気システムの吐出圧力と電力

➢インバータ圧縮機の有効活用

圧縮機はユーザー側の必要空気量に対して仕事を行うが、常に 100%で仕事をしているわけではない。ユーザー側で必要な空気量に対し、圧縮機側は容量制御が行われるが、この時、制御性能の良し悪しで消費動力に大きな影響を与える。要するに制御特性の良くない圧縮機は仕事をしていなくても余分なエネルギーを消費してしまう。

インバータスクリュー圧縮機は、必要な空気量に対して圧力センサーがインバータに信号を与え、回転数を変化させることによって理想的な容量制御が可能となるように設計されている。必要な空気量を得るのに最も少ない電力量で稼働できる方法である。

インバータ圧縮機は回転数が変化しても圧縮機の性能が損なわれずに定圧圧縮を行うため無駄な仕事がほとんどなく、理想的な電力費の削減を図ることが可能になる。

なお、インドにおいては繊維業界で多くの Centrifugal（ターボ圧縮機）を見かけた。使用されている圧縮機の種類によって圧縮方式が異なり、エネルギー削減対策も変わってくるので工場の特性に見合った機種の選択が重要になってくる。

図 2-6 に一般的なインバータスクリュー圧縮機の特性を示す。

この例では 75kW 相当のインバータ圧縮機が、一定速機(サクションアンローダ方式)に対してどれほど省エネになるかを表している。この 75kW の圧縮機が、平均空気量負荷率が 70%で運転されていたとすると、空気量は 30%低下しているにもかかわらず、動力では 10%以下の低下に過ぎない。ここに大きな無駄がある。

インバータ圧縮機では消費空気量に見合った動力で済むので、動力負荷率では、ほぼ 70%となる。結果的に、両者を比較すると 25%もの省エネが出来ることになる。

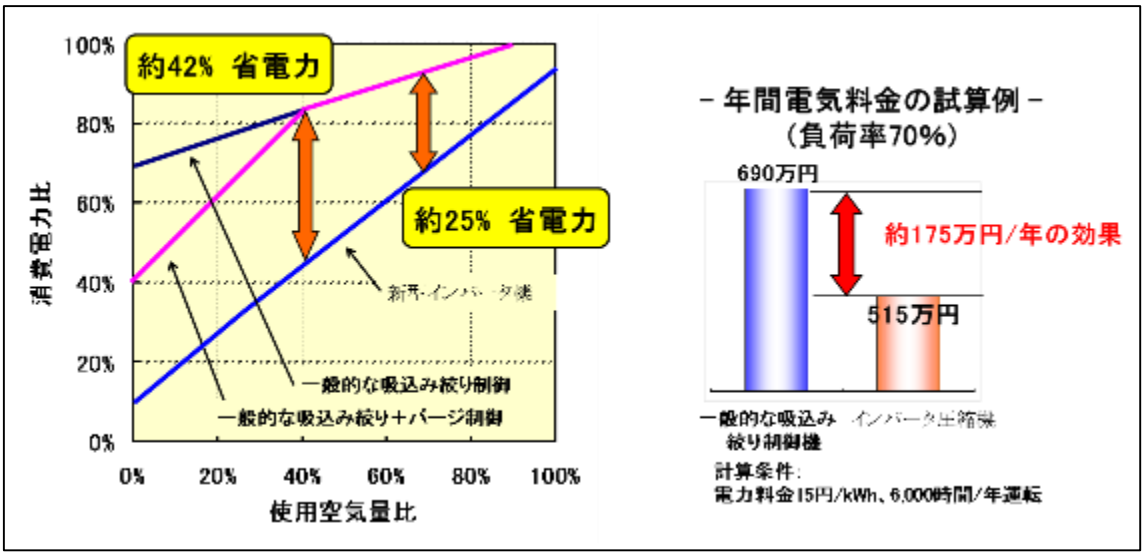


図 2-6　インバータスクリュー圧縮機の特性（75kW の例）

図 2-7 に圧縮機の種類と主な特性を示す。

圧縮機には、その用途やサイズによってさまざまな機種が存在するが、すべての圧縮機が省エネに適している訳ではない。省エネに適している機種は、レシプロ、スクリュー、スロール圧縮機などの容積型の圧縮機で、圧力を下げれば動力が下がる特性を持っている。一方、ターボ圧縮機は簡単に言えば、空気にスピードを与えて圧縮を行う方法であるため、圧力を下げても思うように動力が下がらない。また、容量制御特性が良くないため、できるだけベースロードで使った方が省エネになる。

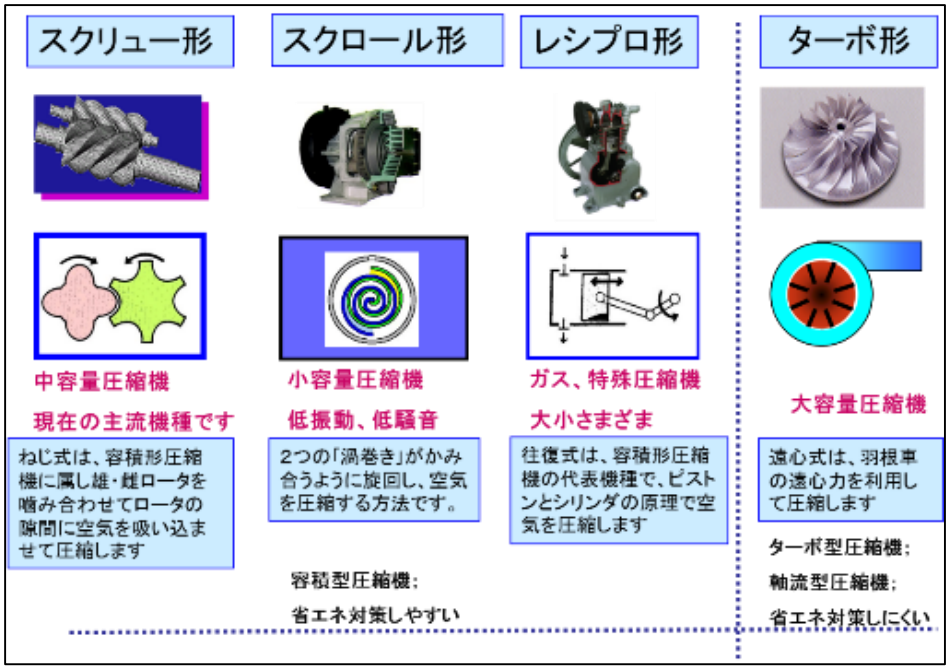


図 2-7　圧縮機の種類とエネルギー削減対策

Centrifugal を中心とした設備に対しては、下記の提言を行う。

・Centrifugal をベースとして負荷変動している容量制御はスクリュー圧縮機で行う。

Centrifugal（ターボ）圧縮機は、

・小型容量機より大容量機の方が省エネになる

・圧縮段数は多いほどエネルギー削減になる。2 段式よりは 3 段式を選ぶ

・負荷変動は効率が悪くなるため、ベースロードとして使う

・吐出圧力を下げてもエネルギー削減にはならないため、選択に注意する

・温度による性能変化を受けやすい（低い温度の方が有利）

などの特徴を有することから、図 2-8 に示すように Centrifugal（TURBO）圧縮機はベースロードとして使い、負荷変動分は、容積型の圧縮機（スクリュー）で行うとエネルギー削減（原単位が小さく）になるといった利用方法が適している。

図 2-8　負荷変動を吸収する方法としての圧縮機の組み合わせ

➢ブースター圧縮機の採用

工場で使用されるエアーは、全てが同じ圧力で動いているとは限らない。エネルギーコスト削減のためには工場全体の圧力は可能な限り下げ、局所的に高圧エアーが必要なところにブースター圧縮機を導入することで、大幅なエネルギー削減を図ることができる。イメージ図を図 2-9 に示す。

工場に供給される圧力を 1.5bar 下げると、圧縮機に要する動力をプラスしてもライン全体では約 10%のエネルギー削減効果が得られる。

一方、ブースター圧縮に使われるエネルギーはわずかなエネルギーで済む。

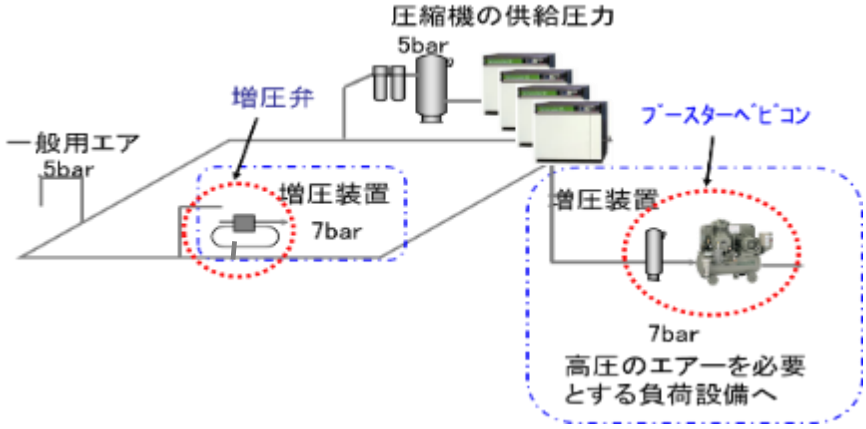


図 2-9　圧縮機の局所高圧化の一例

➢二段圧縮機の採用

1 段圧縮機が複数台運転している状況なら、2 段圧縮機を推奨する。

レシプロ圧縮機やスクリュー圧縮機では、コスト面と使いやすさから 1 段圧縮機が普及しているがエネルギー効率が良くない。省エネルギーを視点とすると 100kW 以上の圧縮機は 2 段式の圧縮機を採用した方がコストメリットはある。

表 2-3 に示すとおり、1 段圧縮機に対して 2 段圧縮機を採用した場合、原単位が 15～18%も良くなる可能性がある。ただし、ユーザー側で負荷変動の大きい設備は分割の方がエネルギー削減に効果的になることもあるので選択には注意が必要である。

また、下記について集中化、大型化を推奨することでもエネルギー削減が可能になる。

・現状でバラバラに設置されている圧縮機を大型化し、集中化する。

・圧縮機は 2 段圧縮機を採用、エネルギー効率を良くする。

・環境の良い場所に設置し、トラブルの外的要因をなくす。

・メイン配管を 150 ㎜(6B)とし、各工場に通す。従来の漏れはなくなる。

・1 台をインバータ化して、台数制御を行えば、容量の最適化ができる。

表 2-3　圧縮機の原単位

	75kW圧縮機 1台	75kW圧縮機 2台	150kW圧縮機 1台
消費動力(入力)kW	84.0	168.0	160.0
吐出し空気量 m^3/min	13.0	26.0	28.5
原単位 kW/(m^3/min)	6.46	6.46	5.61

※ 原単位 ＝ 消費動力 ÷ 吐出し空気量

(2)-2 ムダをなくす

➢漏れの低減～まず現状調査から

圧縮機でもっともムダなエネルギーは漏れによって失われるエネルギーである。

空圧業界の経験的な数字として、工場全体から漏れ出る圧縮空気は生産した量の 20%に達すると言われている。これは平均的な量であるので、漏れが多いところは 50%にも達することがある。

エアー漏れはどこでも起こりうる現象であるため、まず、漏れている量と漏れ箇所を調査しておかなければならない。エアー漏れは、すべて無駄なエネルギーとなるので、すぐに対策をとる必要がある。

漏れチェックは、夜間か休日工場が操業していない時に行う。

まず圧縮機を稼働し、所定の圧力（たとえば 7bar）まで上昇したら、停止、所定の圧力から 1 Bar 低下するまでの時間を測定する。

エアー漏れは一度漏れが起こると対策を行っても再び同じ場所から漏れる傾向にある。一度対策すれば完了ではないため、継続的に監視し、対策することが重要である

圧縮設備全体（工場）からの漏れ量は次式により求める。

$$Q = \frac{(P1 - P2) \times V}{Po(1.0) \times T}$$

元の圧力・・・P1bar（ゲージ圧力＋1bar）
漏れ後の圧力・・・P2bar（ゲージ圧力＋1bar）
P1からP2まで低下する時間・・・T(min)
大気圧力・・・Po bar
配管容量・・・V M3（工場の配管容量＋タンク容量；M3）
漏れ量・・・Q M3/min

漏れ調査方法としては、音による確認や手をかざして確認する方法等があるが、周囲の条件で判断しにくい場合がある。定量的な診断方法としてリークディテクタによる漏れ調査方法をおすすめしている。

リークディテクターは漏れ出る圧縮空気の漏れる微細な音を検知して漏れをチェックする方法で、付属するレーザーポンター―によってエアー漏れ量と位置を計測する。

リークディテクターの特徴は下記のとおりでいろいろなものに応用ができる。

一般的に気体や液体がある程度の速度で大気中に放出された場合や、傷・グリス切れの状態のベアリングなどからも超音波が発生する。

プラントウォーカー リークディテクターⅡは気体の漏洩で特に顕著に発生する40kHz付近の超音波を検知し、配管からのエアー漏れや各種設備のガス漏れ発見、ベアリングの診断など、エネルギー削減対策、環境保全対策、安全対策ツールとして、さまざまな分野に利用できる。

上記の調査で、漏れ量が計算できたら、次のステップでは、漏れ場所を特定し、そのうえで最も効果的と思われる場所から対策を講じる。図2-10に漏れが発生しやすい個所を示した。配管の接続部やレギュレータ等からのエアー漏れが多いことが報告されている。

図2-10　エアー漏れが発生しやすい箇所の一例

➢埋設配管の廃止～配管を地上に出す

埋設配管は、配管が地上に露出しないため行われるケースが見られるが、長く使っていると必ず配管が腐食し、大量のエアー漏れが発生する危険性がある。

しかも、この漏れは発見が困難であるうえ補修も困難である。

埋設配管で、圧縮空気の50%が漏れた例も報告されている。

埋設配管はできるだけ廃止し、配管を地上に出すように変更すると良い。

止むを得ず地下施工しなければならない場合は、ピットに入れる方法を取る。

➢インタークーラ、アフタークーラからのブローを止め、ドレントラップを採用

インタークーラ等のドレン排出はオリフィスを通じて外部に排出される。この量は使用されているオリフィスの径と圧力によって異なるが、ひとつのオリフィスあたり約 200 リットルものエアーが排出される。Centrifugal では 3 個のオリフィスが使われているため圧縮機 1 台あたり約 600 リットル（21cfm）もの圧縮エアーを排出していることになる。年間 280,000m3(9,8000,000cfm)もの損失が発生してしまう。

排出エアー量を削減するために、高効率のドレントラップへの変更を推奨する。

圧縮空気の生成過程にともなう、不必要なダメージやコストを効率的に回避するには、実際に発生するドレン量に応じたドレン排出が要求される。

このための容量レベルセンサを装備した BEKOMAT ドレン排出では、インテリジェント電子制御が圧縮空気のロスおよびエネルギー消費を最小限に抑え、その結果、タイム制御式の排出バルブを採用した場合と比較すると、半年間で初期投資を回収することが可能である。（BEKO TECHNOLOGIES. “BEKOMAT の原則 - 資源の節減と効率性の向上” http://www.beko-technologies.jp/index.php?id=7199.（参照 2015-02-13））.

➢効果的なブローガンの採用、ブローガンの改善

エアー使用の用途を分析すると大半が、①エアーブロー、②機器駆動用に分けられる。

この中でもブロー系のエアーは全体の 70%のも達するため、効率の良い使い方が求められる。

① エアーブローについて

工場内で使用されるエアー消費量の中で最大のものである。

工場内で使用される連続したエアー音は、エアーブローを行っている作業が多く、連続使用の場合、エアー消費量はかなり多くなる。

エアーブローの中でもブローガン（エアーガン）を使ったブローは、使用される機器によって消費されるエアー量が異なる。

ブローガンにはノズルを使ったタイプがエネルギー削減に効果的である。

【確認のポイント】 ①ブローの吹出口径・・・（大きい程消費量は“大”）
②吹出圧力（供給圧力）・・・（高い程消費量は“大”）

② 時間と頻度

ブローガンは直管を使用したものが多いが効率が良くない。これは先端から吐出される直前圧力が問題で、直管の場合圧力低下が起こっているために効率低下を引き起こしている。エアーを削減するには、先端へのノズルを用いることによって直前圧力を高くする。衝突圧力は減圧しても仕事量が同じになるようにすれば、エアーの消費量を 30%削減することが可能である。

配管に対するノズルのサイズは、配管の断面積に対して 3:1 が理想的である。

③ 機器駆動用(アクチュエータ)について

「アクチュエータ」の駆動（エアーシリンダ）に用いられるエアーは、それほど多く

ないが、力を出すことが必要なため、最低保証圧力が求められる。

エアーシリンダの排気にエアーセイビングバルブを取り付けると、仕事をする力が同じでもエアー供給量を 30%削減できる。

レギュレータの圧力計をチェックし、減圧できるか確認し、またエアーセイビングバルブとの組み合わせで、消費量を減らすこともできる。

➢省エネカプラの採用

現在広く使用されているカプラは内径が絞られるタイプがほとんどで、カプラ内で内径の縮小、拡大が行われる影響で圧力損失が発生する。省エネカプラは配管外部を接続する方法であるため内径の変化がなく、圧力損失が極小で済む。

(2)-3 環境を整える

➢FRESH、COLD、DRY

圧縮機の望まれる環境の三要素として、FRESH、COLD、DRY がある。圧縮機のような生産設備は環境の影響を受けやすいため省エネルギーと密接な関係があり、環境を整える必要がある。

FRESH：圧縮機を設置する場所の空気が悪いと本来の性能を発揮できない。

・周囲に有害ガス（腐食、劣化、破損）
・粉塵、異物（早期破損、性能低下）
・密閉された部屋（風量低下、温度）
・海の近く（塩害、腐食）

以上の影響により、サクションフィルタやラインフィルタでは詰まりが発生し、性能の低下が起こる。圧縮機の設置環境が悪いと損失として 5～10%の低下は、ごく当たり前に起きる。

COLD：容積形圧縮機（スクリュー、レシプロ圧縮機）では、吸入温度が変わっても、吸込状態で表した空気量はほとんど変化しないが、生成された圧縮機空気の密度が異なる。結果的には温度によって吸入空気量の変化が起こる。

空気の特性として吸込温度が低いほど、より少ない吸込空気量で同じ吐出空気量をまかなうことができる、即ち、高温の空気は空気密度が薄いため吐出される量が不足する（吸入空気温度が 1 ℃高くなれば 0.3%の効率が低下する）。

DRY ：吸込大気中の湿分は一部ドレンとして凝縮し、機外に排出されるため、湿度が高いほど、圧縮機出口の圧縮空気の量は減少することになる。晴天時には圧力が維持されていた設備が降雨とともに圧力が低下してしまうことがある。（晴天の時と降雨の時では空気量が 3～5%低下する）

また、発生したドレンの排出がうまく行われないと圧縮機本体にドレンが残留し、潤滑阻害などダメージを与えてしまうことがある。

つまり、環境を整えるということは、省エネを維持するとともに、圧縮機設備を良好に使用するための最低限の条件ということになる。

➢ドレン処理装置の設置

圧縮機から排出されるドレン水については、特に処理も行われずに排出されている。しかし、ドレン水は汚濁した水であり、環境保護を考えると、ドレン水をそのまま廃棄することは、環境破壊の面で問題がある。

一般的に圧縮機のドレン水には 100～300PPM の油分が含まれている。

水質汚濁防止法によれば、河川に流すには、これを 5 PPM 以下まで下げなければならない規制がある。ISO140001 はこれに準拠しているためドレン水の処理を提案する。

➢プレ吸入フィルタの定期的な清掃

圧縮機は環境によって性能の低下が起こることは前述したが、圧縮機の吸い込み圧力が低下しても圧縮機の効率が低下する。

たとえば、圧縮機のサクションフィルタが目詰まりしやすい環境ではプレフィルタを設置する。サクションフィルタの清掃を定期的に行えば問題は解決するが、メンテナンスを行うたびに圧縮機を停止しなければならない。プレフィルタはサクションフィルタの前に設置すると、圧縮機を停止しなくてもメンテナンスができる。これを定期的に清掃すれば圧縮機の効率を長期間維持できる。

また、圧縮機室内が密閉された部屋であると、吸気圧力が低下して効率を悪くすることがあるので、圧縮機室内の吸入圧力を監視してみるなど対応が必要である。

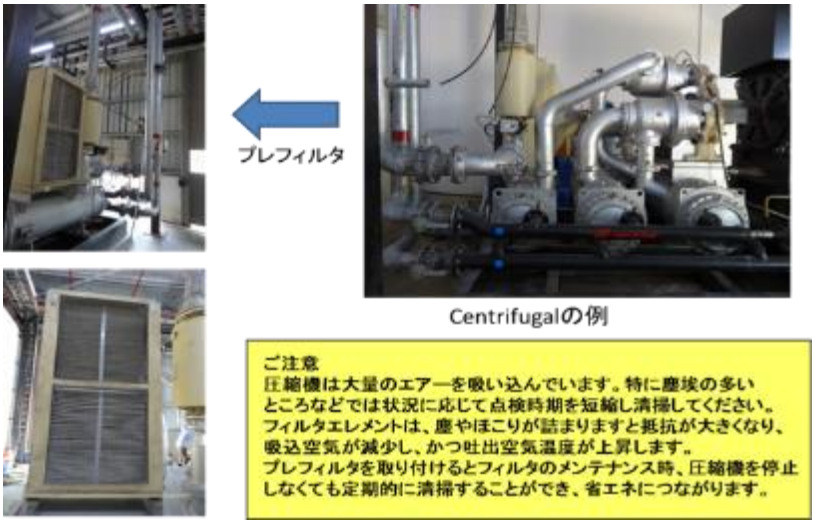


図 2-11　プレフィルタの定期清掃による省エネ

(2)-4 配管と省エネ

圧縮された空気を末端まで届けるためには、配管が必要でここに様々なロスが発生する。省エネ的には大きな課題となるため、この内容について記す。

吐出配管を施行する場合、熱膨張や振動などの外的要因を防ぐために腕の長い三屈曲（3回は曲げて施工する）が望ましいと言われているが、これが出来ないときには適当な逃げ、U字管、膨張継ぎ手（フレキシブルチューブ）を用いる。

省エネ面から見ると、曲がりは少ない方が抵抗を小さくできるので最小限に留める必要がある。配管抵抗を少なくするためには、配管内を通る圧縮空気の流速を遅くするよう設備する必要があり、なるべく太い配管で施行すると効果的である。

＊配管施工の注意点

空気の品質を向上させるために、配管の改善を提案する。

配管施工上の注意として、細い配管、曲りの多い配管、バルブなどの仕切りが多い配管では損失が大きくなるため対策が必要である。

また、配管にはドレンの逆流現象などによって圧縮機を壊すなど、さまざまなトラブルの要因となる。したがって、配管の接続方法としては、上部からの接続が望ましい。

❖立ち上がり配管には必ずドレン抜きを設ける。
集合配管へはドレン逆流防止のため上から接続すること。（分岐する枝管も同様に上から接続する）

❖集合配管は上流側から下流側へ勾配（1/100）を付け、配管の末端にはドレン抜きを設ける。

＊配管の材質

配管の材質と損失との関係は、配管内部を通る圧縮エアーの抵抗（摩擦）が大きいと発生しやすいので、省エネ面では配管内部の摩擦を少なくするため、配管材の材質を検討する必要がある。

（a）炭素鋼管および配管

圧力 1 MPa までの空気や冷却水管には、通常ガス管と呼ばれている配管用炭素鋼管（S. G. P.）、あるいは白ガス管（亜鉛メッキ管）を用いる。

これらの配管材は、安価で入手し易いため、広く使用されている。欠点としては、腐食しやすく、漏れや破裂などのトラブルを起こすことがある。

（b）ステンレス配管

食品、薬品、化粧品、化学、あるいは電子産業や半導体製造設備など、特にクリーンエアーが要求されるところでは、ステンレス管を用いることが多くなってきた。これはせっかく圧縮機側でクリーンなエアーを造り出しても配管の途中で錆など不純物が発生すると末端で汚れた空気になってしまうのを防ぐ目的で用いられる。

（c）塩化ビニール管

塩ビ管は耐食性で加工しやすい特徴を持っているが、熱に弱く（軟化温度 76～80℃）振動に弱い性質がある。また、熱膨張が大きく、鉄の 7～8 倍もある。したがって、

給水、排水、排気、ドレン等に使用される程度とすること。塩ビ管は使いやすいが積極的な使用はおすすめしていない。

(d) ゴムホース

簡易的に使用される配管にゴムホースがある。非常に簡単に接続が出来、柔軟性に富んでいることから広く使われているが、欠点も多い。

たとえば、ゆるやかな曲りをもったゴムホースでさえ鉄管に比べると 30%も損失が大きくなってしまう。また、接続部は必ず絞り継手が取り付けられることになるため、圧力損失が発生する。

ゴムホースは緊急時の対応策として用いる。

＊配管の圧力損失

① 管内の流速

圧縮機から吐き出された空気は配管内を通って末端まで届けられる。この時管内を通る空気(圧縮された空気)は、その速度が速いほど圧力損失が大きくなり、また同じ空気量でもその空気の温度が高く、圧力が低いほど管内の流速は速まる。

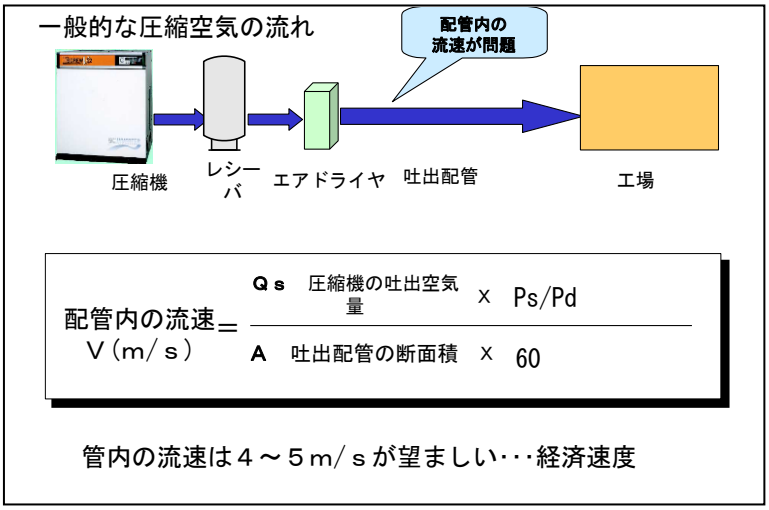


図 2-12 圧縮空気の流れ

圧縮機に付属している吐出管径は一般的に 10m/s ほどの流速で設計製作されている。設置工事が簡単になることから、圧縮機の吐出配管口径と同サイズで配管施工するケースが見られるが、管内の流速は意外と速いため、省エネ的には不利である。

管内を通る空気の流速と、圧力損失の関係は配管径によって一様ではなく、同じ流速でも配管径が細いほど圧力損失は大きくなる傾向がある。表 2-4 に 100m あたりの圧力損失を 0.01MPa 以下とした場合の配管を示す。

汎用で使用される圧縮機の範囲では、吐出配管内を通る空気の流速を 4~5m/s 程度にす

表 2-4 配管の圧力損失

配管の圧力損失

$$\Delta P(\mathrm{MPa}) = \frac{2{,}466 \times 10^3 \times Q^2}{d^{5.31} \times (P + 0.1013)}$$

ハリスの式

ΔP：配管1m当たりの圧力損失

Q：空気使用量（Nm^3／min）

P：配管入口圧力（MPa）

d：配管内径（mm）

長さ100m当りの圧力降下

単位；MPa

空気量 (m3/min)	1/4B 8A	1/2B 15A	1B 25B	1-1/2B 40B	2B 50B	3B 80B
0.5	0.067	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000
1	2.681	0.137	0.001	0.000	0.000	0.000
1.5	6.033	0.309	0.018	0.000	0.000	0.000
2		0.549	0.031	0.000	0.000	0.000
4		2.198	0.126	0.014	0.000	0.000
6		4.945	0.283	0.032	0.009	0.000
8			0.502	0.057	0.016	0.000
12			1.130	0.128	0.036	0.000
24			4.521	0.512	0.143	0.015

ると経済的で、この速度を経済速度と呼んでいる。

② 圧力損失とエネルギーロス

圧縮機設備(送り出し側)と末端(使用側)の圧力差が大きいと圧縮機側では余分に圧力を高める必要がありこの圧力差はそのままエネルギーロスとなる。

エネルギーロスとの関係は、例えば 0.69MPa で圧送した空気が末端で 0.59MPa となっていたとすれば、0.1MPa 分余計に圧縮しなければならないため、この時のエネルギーロスは一段圧縮の場合 8.4%にもなる。したがって圧力損失はできるだけ小さくするのが望ましい。

③ システムでの圧力損失

配管系統以外にシステムで組まれている各種フィルタ類や、エアドライヤーなどによっても圧力損失はおこる。

省エネ的には、できるだけ圧力損失の少ないフィルタを選定することが大切であり、フィルタのサイズをワンランク上げることも検討してみる必要がある。

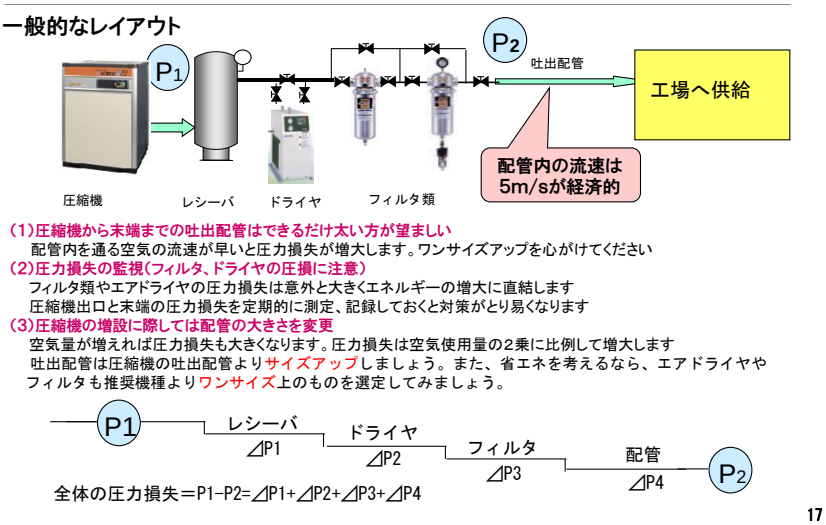


図 2-13 圧縮空気システムの一般的なレイアウト

一般的な圧力損失として、冷凍式エアドライヤーでは 0.02 MPa、フィルタ類ではエレメントが新品の場合でも 1 本当り 0.01～0.04 MPa ほどの圧力損失がある。したがって、トータルとしての損失を計算しておかないと、システムが機能しないなどのトラブルを起こすことがあるので注意しなければならない。

また、吸着式のエアドライヤーを使用した場合には、吸着剤の再生用として空気量の 10～20%を消費する。空気量についても事前に打ち合わせしておく必要がある。

＊配管サイズの決定

圧縮機に対して必要な吐出配管のサイズは、管内を通る空気量と圧力で決まる。

レシプロ型圧縮機の場合は、圧縮空気が吐出されるサイクルと吐出されないサイクルが

あり、太い配管が必要であった。しかし、圧縮機がスクリュー機化され、圧縮空気が連続的に吐出されるようになると、吐出配管は必要最小限のサイズで施工されることが多くなってきた。これは省エネルギー上問題で、もし圧縮機の吐出配管サイズと同じ口径で吐出配管を構成すると大きな圧力損失を引き起こしてしまう。

配管のサイズが十分でない場合発生する現象は、圧力損失とエアー不足（クリッピング）、共鳴現象などが発生すると考えられる。

もっとも理想的な配管口径は、長さにも関係するが、圧縮機に付いている吐出配管をワンサイズか 2 サイズ大きくしたものを設備すると万全である。

(2)-5 換気対策方法

圧縮機およびエアドライヤーから排出される空気は圧縮熱を伴っており、圧縮機室内の温度を上昇させる。この排熱が籠った状態で室温を上げている場合、機器の性能低下にもつながるので、ダクトの施工と排気ファン取り付けを推奨する。ダクトの施工が悪いと圧縮機の異常停止等のトラブルが発生することがある。

圧縮機室内の温度が 10℃上昇すると圧縮機効率を 3%低下させてしまう。このため圧縮機室内の換気は重要な点となる。

必要換気量は下式により計算して求める。

$$Q = \frac{n \times H}{0.0753 \times \Delta T}$$

Q: 必要換気量（m3/min）
H: 1台あたりの発生熱量（MJ/h）
（1kW＝3.6MJ/h）
n: 据付け台数
T: 許容温度上昇
（外気温35℃、圧縮機許容最高温度45℃とすると
ΔT＝45−35＝10℃）

(2)-6 レシーバタンクの簡易点検

レシーバタンクは容量の大きさが省エネに直結するが(容量が大きいほど省エネ効果が得られる)、そのメンテナンスについては言及されることがない。しかしながら、内部腐食や漏れ等が発生すれば、損失は大きくなる危険性がある。したがって、レシーバタンクなどの圧力容器に対しては簡易点検の実施を推奨している。

レシーバタンクは通常、屋外に設置されることが多く、外部腐食が起こりやすい。しかも、このような場合には、内部でも腐食が発生すると考えられる。これは大量のエアー漏れの原因となりうるため定期的な観察が必要になってくる。

日本国内の規制では、40 リットル以上の容量をもつ圧力タンクは、第 2 種圧力容器と見なされ、年次での自主点検が必要でこの記録を 3 年間保管しなければならない。

こうした規制内容をインドでも準拠した方が良い。

公的規制ではレシーバタンクは定期的な肉厚測定の調査に加え、下記点検を行う。

・ボルト、ナットの緩みはないか

・圧力計は機能しているか

・漏れはないか

・腐食していないか

・安全弁は正しく機能するか

・基礎ボルトは締まっているか

・改造が加えられていないか

(2)-7 エネルギー監視

➢監視システムの採用

工場で使用されるエネルギー量を削減するには、まず現状把握を行うことが必要である。また、継続的に改善を行うためにはエネルギーの使用状態を常に監視しておく必要がある。

エネルギー監視は、それ自体が省エネにはならないが、使用エネルギー量を表示し、従業員全員がこれを共有化することによってエネルギー削減意識を高める効果がある。

工場エネルギー管理システム（Factory Energy Management System: FEMS）は、

・エネルギー削減によるコスト削減をサポート

・生産ライン別、工場別の管理レベルの統一化とエネルギー管理情報の統合化

・将来の設備増設・更新、他システムとの連携などへの拡張性も考慮した工場で使用するエネルギー全体の管理システムである。

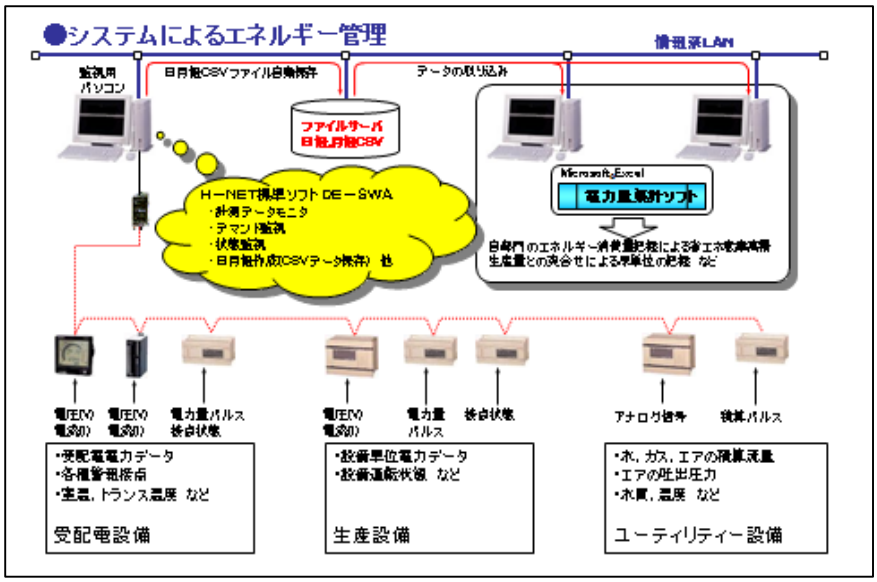


図 2-14　電力監視システム構築例

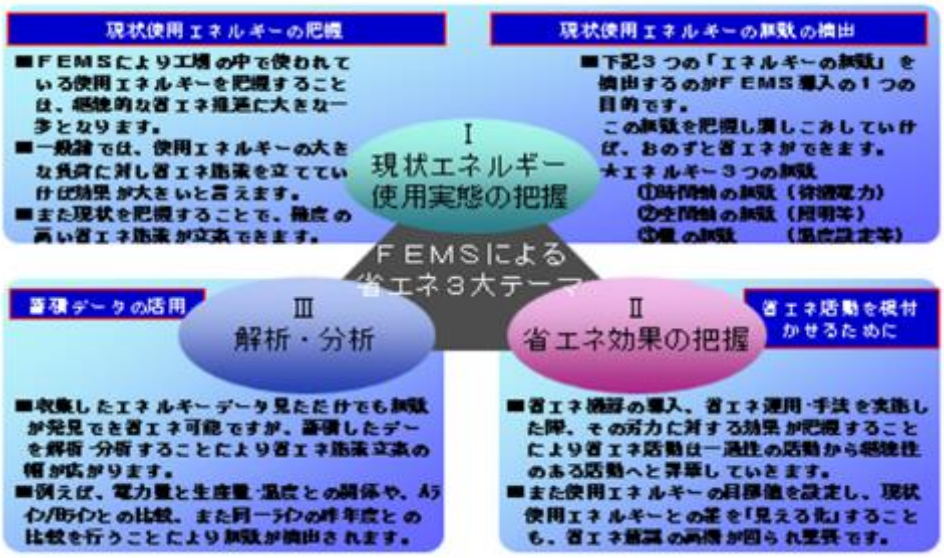


図 2-15　FEMS の概要

(2)-8 計測診断の活用

これまでの活動では、FS が主体であったため、各機器で消費される電力量の把握までは行ってこなかった。

しかし、本格的な調査を行うとなると圧縮機個々の実態把握が必要であるため、計測診断機器を持参して短時間の計測を行ってみた。結果、ウォークスルー調査で推測されたエネルギー削減効果が、具体的な数字として示すことができるようになった。

計測診断ではサイトで実際に使用している圧縮機にデータロガーを取り付け、1 週間から 10 日間程度の運転データ(電流と吐出圧力)を採取する。このデータを分析して、年間消費するであろうエネルギー量や削減可能なエネルギー量を推定する。

この方法は、お客様に具体的な数値として示すことができるため、理解が得やすく、コストパフォーマンスを計算するうえでも有益な手法である。

今回の活動では、短期的な調査であったが、長期的に継続的にデータを採取していくとなるとエネルギー監視システムとして FEMS の導入が不可欠となる。

FEMS を導入することでのメリットは、工場全体のエネルギー使用実態を把握し、エネルギー削減及び CO2 削減への改善へつなげることができる。また、見える化を行うことによって従業員の意識付けにつながり、大きな成果を得ることができる。

(2)-9 冷却水ポンプのインバータ化

これまでの調査で、水冷式圧縮機における冷却水循環ポンプにも着目した。

圧縮機の補機ではあるが、圧縮機の稼働台数に関わらず常に一定速で動作している状況が散見された。圧縮機自体のインバータ化も省エネに大きな効果が得られるのと同様に、冷却水循環ポンプを圧縮機の稼働台数に応じてインバータ制御することで省エネ効果が期待で

きる。モータ・ポンプの軸動力（消費電力）は回転数の 3 乗に比例する。
例えば回転数を半分にした場合のモータ・ポンプの軸動力（消費電力）は、理論計算上は 12.5％となり、87.5％の省エネが図られる。

(3) 調査対象工場の CO2 削減、環境改善の提案

期間中、6 社の企業に対して実施可能性調査を行ない、現状の把握と問題点の抽出、その改善策の提案を行った。各調査先のレポートでは、エネルギー削減のための方策と環境対策等を具体的なテーマをあげて提案をおこなった。今回の調査では、圧縮機の中でもインバータ式の圧縮機の導入に焦点を絞って機器（ハード面）だけではなく、その運用（ソフト面）の面からもトータルに圧縮空気システムとして現状調査と提案をおこなった。

圧縮機はユーザー側の使う空気量によって負荷変動が発生するが（容量制御を行う）、一般的な圧縮機では、この時に無駄な動力を要してしまう。本プロジェクトで取り上げたインバータ圧縮機はこれらの負荷変動に有効に働き、動力を吸収するため必要最低限の動力で済むように作られている。動力の削減効果によって CO2 の削減量が決まる。

たとえば、75kW のインバータ式圧縮機では、負荷率を 60%とすると約 25%の省エネになり年間 163Ton の削減量になり、同様に、3.7kW のブースター圧縮機では、ベースで使われる圧縮機容量を 250kw とすると年間 107Ton の削減量、150kW の 2 段圧縮機では年間 176Ton の削減量になる。

また、インバータ式圧縮機は、電気、ガス、水道に次いで産業界における第 4 の汎用的なインフラであるといわれていることからも、その適用先としては一般的に全ての業種やセクターに適用される技術である。

特筆すべきことは、調査した 6 社のうち 3 社にはすでにインバータ圧縮機が導入されていたことである。しかしながら、それらのインバータ機はエネルギー削減の役を十分に果たしていなかった。これは使い方の問題であり、いかに優秀な機器（ハード面）を採用しても使い方（ソフト面）が伴わなければ無意味であることを示している。ハード、ソフト両面の技術的支援が必要である。一般的に、機器を導入すれば一定の CO2 削減が可能かと推測されるが、各社で最適な機種を選定し、その機種を有効活用することによってのみ大きな CO2 削減効果が得られる。その点からも本プロジェクトでは、圧縮空気システムとして、調査先の工場規模、使用機種、サイズ、負荷状況、運転時間等、機器（ハード面）と運用（ソフト面）の両面から総合的に現状調査と提案を実施し、実施可能性の検討をおこなった。
訪問した 6 社への提案内容を以下にまとめる。

(3)-1 Raymond Denim Pvt. Ltd.（繊維業）

世界有数のデニム工場。工場規模はかなり大きく 220,000kwh/day もの電力エネルギーを消費する。圧縮機の消費エネルギーは 42,000kWh/day で工場全体の 19%、現在は 2 台の Centrifugal によってエアーが賄われている。圧縮機はこの他 7 台のスクリュー圧縮機があるが現在は使われていない。これは、Centrifugal の方が、原単位が良いために切り替えが行われたためである。

当社に対しては、改善点が多数見られたものの判断するデータが少なく、省エネ試算ができなかった。

当社に対しての具体的な改善策としては、インタークーラ等から排出されるエアー量を削減するために、効率の良いドレントラップを取り付けることを提案した。エネルギー削減量としては小さいが、今後の展開次第で大きくステップアップすることもできる。

工場のマネージャーによると、省エネルギー活動を行って対策はし尽くしたとの発言ではあったが、提案できる項目は多数ある。

このサイトでは、圧縮機室内の空調化を提案してみたところ、大変興味を示したのでこの内容を記す。

：圧縮機室内の空調化

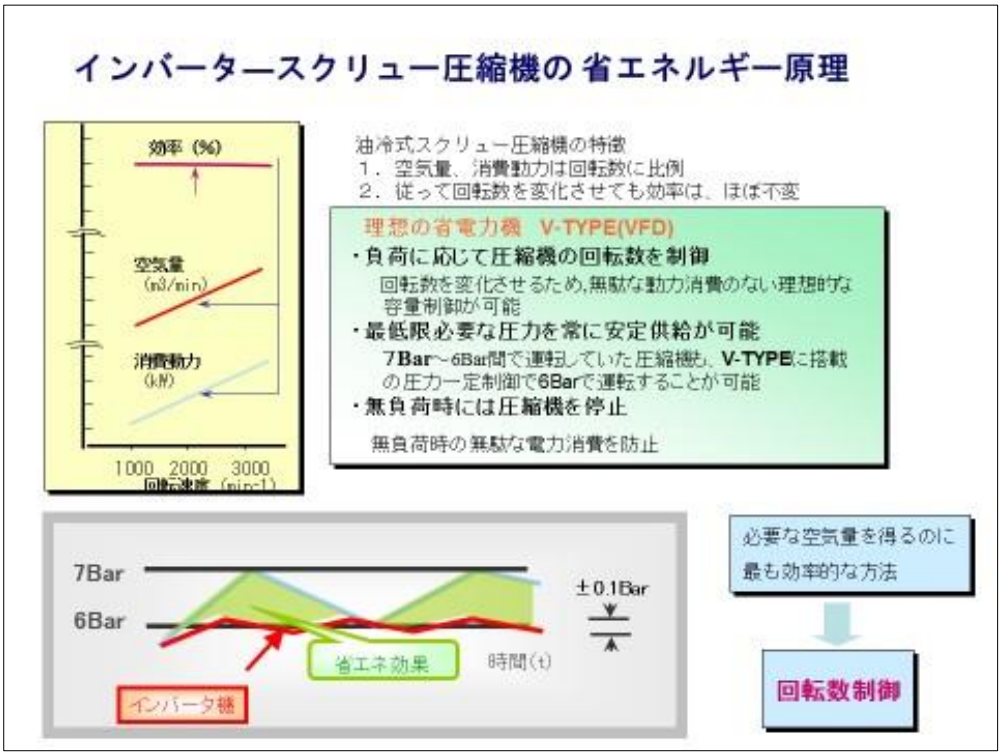
圧縮機室内を空調機で冷却し、温度の低い空気を吸入させることによって、エネルギー効率をアップさせる方法で、省エネとともに圧縮機そのもののトラブルを激減させる効果もあるため注目されている。また、トラブルがほとんど起こらなくなるため、メンテナンスサイクルを延長できるメリットもある。

冷却に要するエネルギー損失と得られる省エネ効果で省エネ効果は相殺されてしまうが、よりグレードの高い品質のエアーを得ることができる。

今回のリポートで提案した内容は下記のとおりである。

[ハード面（機器側）]

◈インバータ圧縮機の導入/有効活用



◈高効率ドレントラップの採用

高効率のドレントラップを推奨（排出エアーの削減）

BEKOMATホームページより引用
圧縮空気の生成過程にともなう、不必要なダメージやコストを効率的に回避するには、実際のドレン量に応じたドレン排出が要求されます。
このための容量レベルセンサを装備したBEKOMATドレン排出では、インテリジェント電子制御が圧縮空気のロスおよびエネルギー消費を最小限に抑えます。その結果、タイム制御式の排出バルブを採用した場合と比較すると、すでに半年間で初期投資を回収することが可能です。

参考
穴から噴出するエアー量（φ2mm）
・2Bar　0.11m3/min(3.8cfm)
・4Bar　0.18m3/min(6.3cfm)
・7Bar　0.29m3/min(10cfm)
穴から噴出するエアー量（φ3mm）
・2Bar　0.24m3/min(8.4cfm)
・4Bar　0.41m3/min(14cfm)
・7Bar　0.65m3/min(23cfm)

$$Q=687\ \frac{60Ca}{J}\ \sqrt{P1/V1}$$

Q;噴出量
C;流量計数
a;穴の最狭部面積
J;空気の密度
P1;穴の前におけるガスの絶対圧力
V1;穴の前におけるガスの比容積

[ソフト面（運用改善側）]
◈エアー漏れの低減･･･現状調査

エアー漏れチェック方法

漏れチェックは、夜間か休日工場が操業していない時に行います。
圧縮機を稼働し、所定の圧力まで上昇したら、停止、所定の圧力から1 Bar低下するまでの時間を測定する。
これは、すべて無駄なエネルギーとなるので、すぐ対策をとること。
上記の調査で、漏れ量が計算できたら、次のステップでは、漏れ場所を特定すること。
そのうえで最も効果的と思われる場所から対策を講じる。
漏れは一度対策すれば完了ではない。
継続的に監視すること。

エアー漏れが発生しやすい個所

バルブ

ブローガン

レギュレータ

配管継ぎ手

これらから発生するエアー漏れは少なくとも5%、平均的な工場では全体の20%にも達すると言われています。せっかく圧縮したエネルギーを無駄にしないよう常に調査することが必要です。
漏れ量は圧力降下計算で算出ができるため、確認いただき、漏れ力所を特定して削減を図ると効果的です。
削減目標は半減です。

◈埋没配管の取り止め

配管施工上の注意…埋設配管の危険性

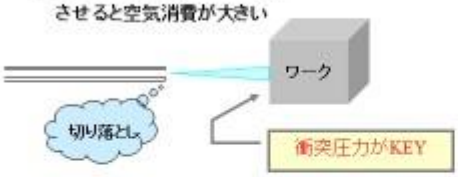
埋設配管は、配管が地上に出ないため行われるケースが見られるが、実は
長く使っていると必ず配管が腐食し、大量のエアー漏れが発生してしまう。
しかしながら、この漏れは発見が困難であるうえ補修も困難である。
埋設配管で、圧縮空気の50%が漏れた例も報告されている。
埋設配管はできるだけ地上配管へ変更すると良い。
止むを得ず施工しなければならない場合は、ピットに入れる方法を取る。

埋設配管は漏れの懸念が高いため、地上配管に変更して下さい。

◈ブローガンの改善

効率良いブロー改善の例・・・・・効果はどれくらい？？

切り落としの長い銅パイプで噴出
させると空気消費が大きい



圧力損失ロス　大＝消費量　大

吐出直前にノズルを取付けると
噴出圧力が有効に取り出せる

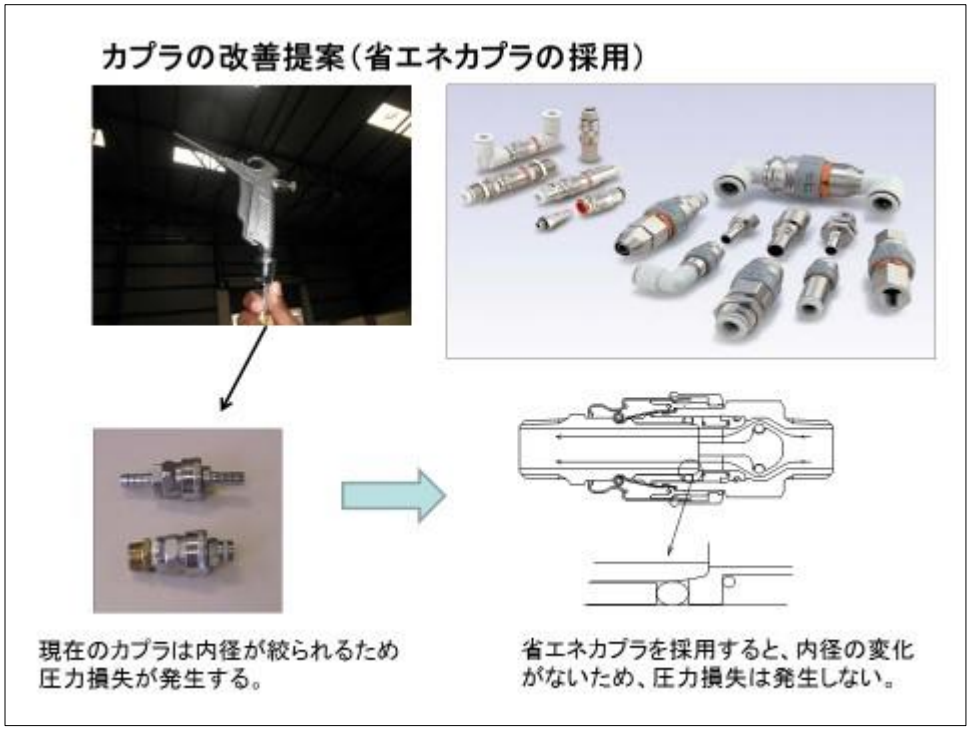
圧力損失ロス　小＝消費量　小

ブローガンと切り落とした銅パイプ
の損失空気量を比較

ブローの直前圧力を高くすれば・・・
改善前後の衝突圧力は減圧しても同じ
空気量を30%も削減できる。
配管に対するノズルのサイズは、面積比3:1が理想的

ノズルの形状で空気の噴出量が異なる

◈省エネカプラの採用



◈油煙処理

◈レシーバタンクの簡易点検

[まとめ（CO2 削減）提案]

1.圧縮機を効率良く使う・・・負荷変動分の吸収

・インバータ圧縮機の有効活用・・・最大 900kW までのインバータ機がある。

・Centrifugal＋スクリュー圧縮機の組み合わせ・・・理想的な圧縮効率を確保

2.ムダをなくす・・・損失の改善は CO2 削減の第一歩

・漏れの低減～まず現状調査から・・・必ず漏れがある。」

・埋設配管をやめる・・・地上配管へ変更

・インタークーラ、アフタークーラブローを止め、ドレントラップを採用する。

・ブローガンの改善・・・エアー消費の改善

・省エネカプラの採用・・・圧力損失を改善

3.環境を整える・・・圧縮機に理想的な環境とは？

・FRESH、COLD、DRY の環境をつくる。

・プレ吸入フィルタの定期的な清掃

4.レシーバタンクの簡易点検・・・AIR　VESSEL の規制

5.エネルギー監視・・・FEMS を活用した CO2 削減活動へ

・監視システムの採用

(3)-2 Morarjee Textile Ltd.（繊維業）

繊維、コットンを製造する中規模の工場。近くエアージェットマシンを使った新工場を建設する計画で、インドでは好調な業種。

電力使用量は 120,000kWh/day、圧縮機で使われる電力量比率は約 5%であるが、新工場が建設されれば 4000cfm（およそ 1000kW）の圧縮機が必要となるためトータルでは 20%ほどの比率になる。

現在 4 台の圧縮機があるが、使われているのは 250kW のスクリュー圧縮機 1 台のみ。

工場が古いため、さまざまな問題点が見られ解決策を提案した。

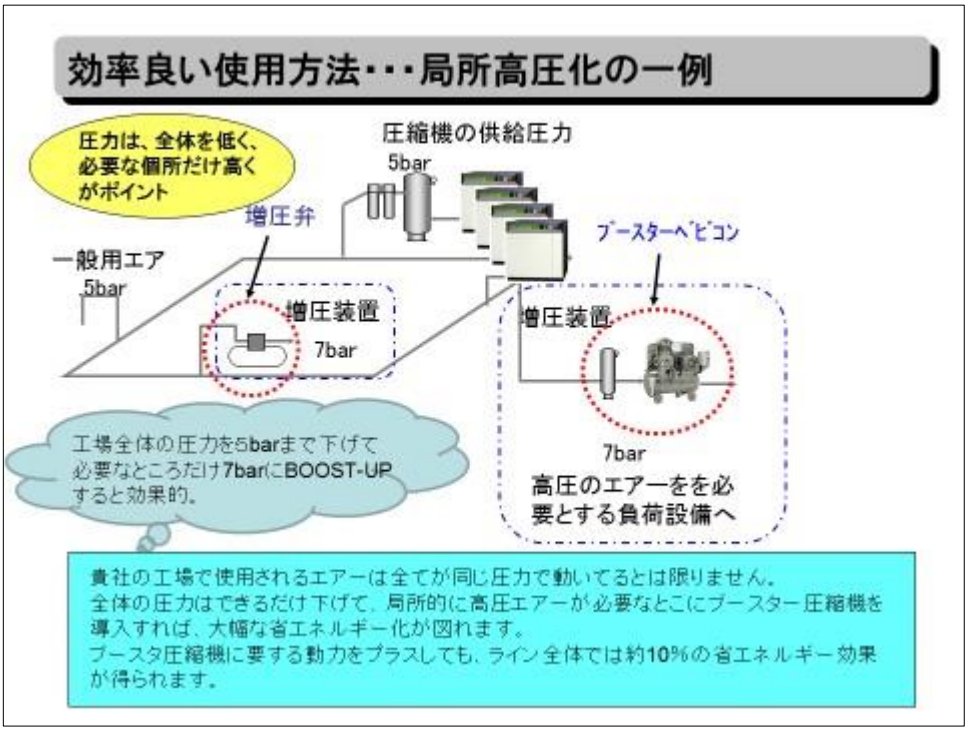
当社に対しての提案では、切れた糸を補修する DELTA というマシンで比較的高い圧力が必要で、増圧弁が使用されていた。これをブースター圧縮機に入れ替えることにより、年間 110,000kWh の動力が削減できる。

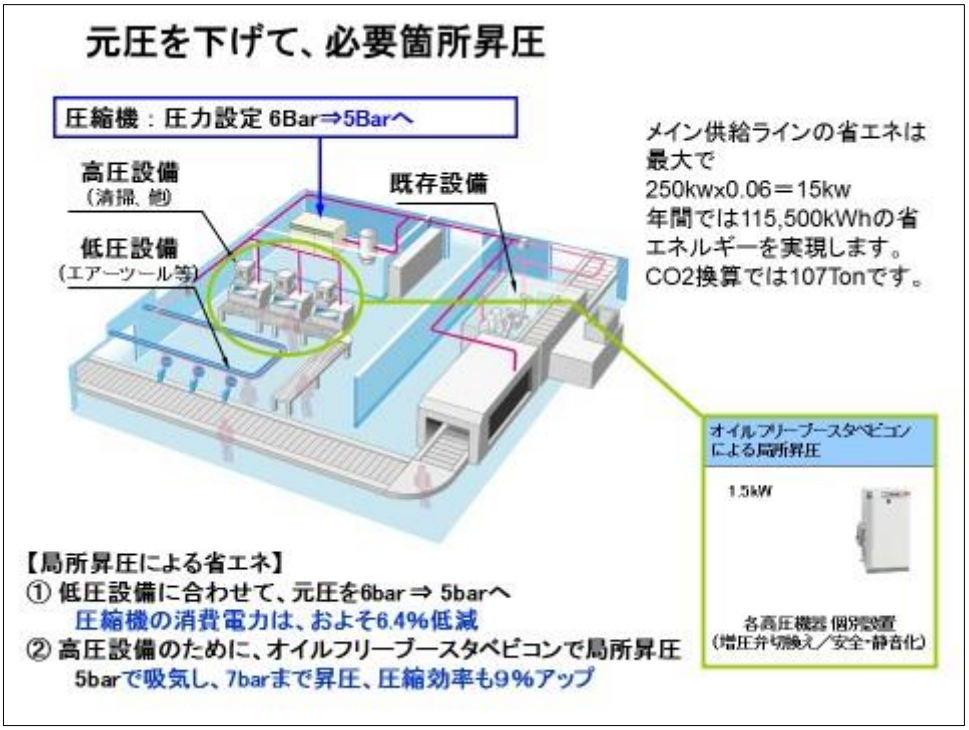
なお、新工場用の Centrifugal が納入されると運転のベースは Centrifugal に移行する。使用に際しては 1000cfm の変動があるとのことであったため、Centrifugal とスクリュー圧縮機の組み合わせを提案している。

今回のリポートで提案した内容は下記のとおりである。

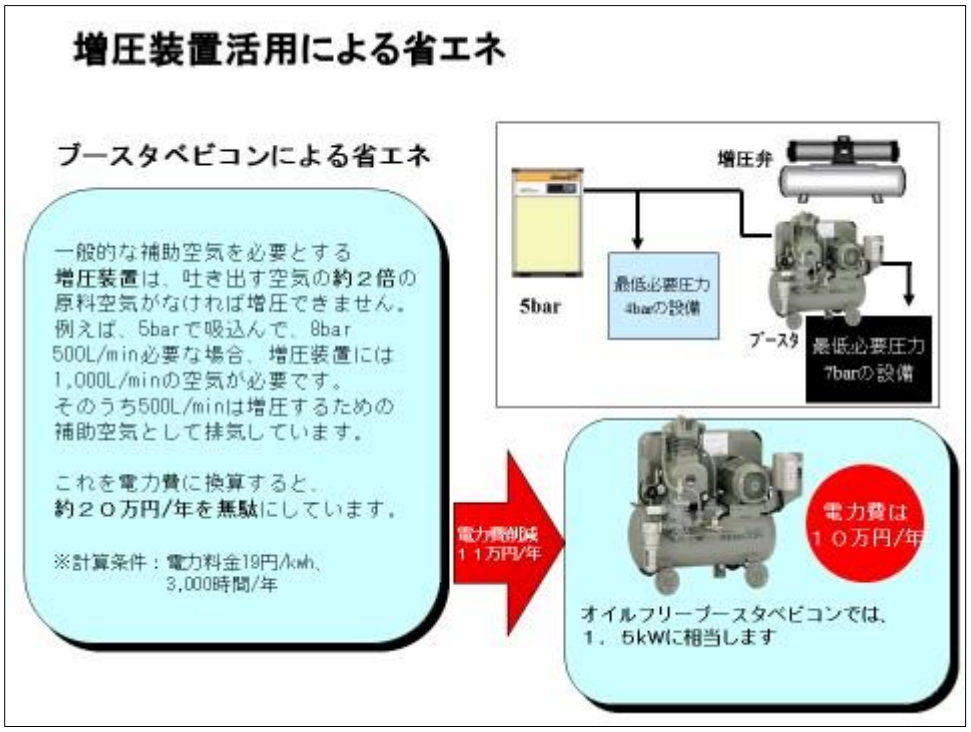
[ハード面（機器側）]

◈ブースター圧縮機の導入

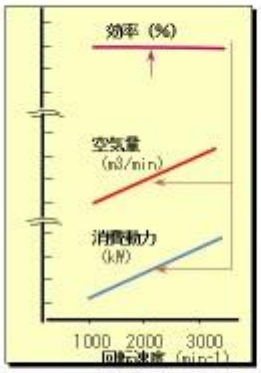




◈インバータ圧縮機の導入/有効利用



インバータースクリュー圧縮機の省エネルギー原理



油冷式スクリュー圧縮機の特徴
1．空気量、消費動力は回転数に比例
2．従って回転数を変化させても効率は、ほぼ不変

理想の省電力機　V-TYPE(VFD)

- **負荷に応じて圧縮機の回転数を制御**
  回転数を変化させるため,無駄な動力消費のない理想的な容量制御が可能
- **最低限必要な圧力を常に安定供給が可能**
  6.0ar~5.0Bar間で運転していた圧縮機も、**V-TYPE**に搭載の圧力一定制御で**5.0Bar**で運転することが可能
- **無負荷時には圧縮機を停止**
  無負荷時の無駄な電力消費を防止

必要な空気量を得るのに
最も効率的な方法

回転数制御

負荷変動を吸収する方式を提案

CO2削減のための推奨･･･CENTRIFUGAL＋スクリュー圧縮機

ベースロード

スクリュー型圧縮機
（インバータ機）
容量調整機

[ソフト面（運用改善側）]

◈吐出圧力を下げる

吐出圧力を下げて省エネルギーに

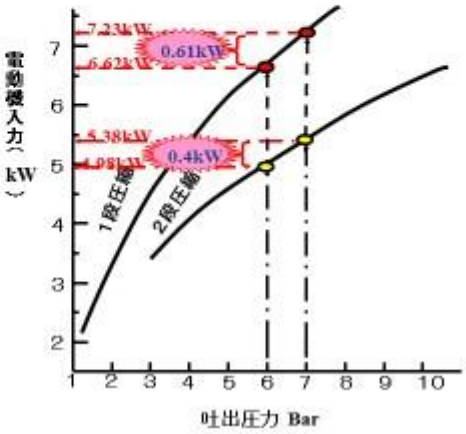
吐出圧力を下げた時の効果例

圧縮機の吐出圧力は必要以上に高くありませんか？
圧力を下げれば省エネになります。
圧力を下げることを提案します。
1段圧縮機の場合、現状より1bar落とせば8%の省エネが可能です。
2段機でも7%ほどの電力削減が可能です。

貴社設備の場合、圧縮機容量が250kWですから
これを6%さげることが可能なら、
250kWx0.06＝15kWの省エネが可能になります。
年間7700時間稼働したとすれば、
15kW×7700h＝115,500kWh
CO2換算では、107Tonにもなります。
圧力を下げることが可能か、まず調査から始めてください。

末端で6Bar必要ですか？
1Bar下げてみましょう。
スクリュー圧縮機では1 Bar下げると6%も省エネができます。

吐出圧力を低減して省エネ化を図る



◈漏れの低減

エアー漏れチェック方法

漏れチェックは、夜間か休日工場が操業していない時に行います。
圧縮機を稼働し、所定の圧力まで上昇したら、停止、所定の圧力から1Bar低下するまでの時間を測定する。
これは、すべて無駄なエネルギーとなるので、すぐ対策をとること。
上記の調査で、漏れ量が計算できたら、次のステップでは、漏れ場所を特定すること。
そのうえで最も効果的と思われる場所から対策を講じる。
漏れは一度対策すれば完了ではない。
継続的に監視すること。

エアー漏れが発生しやすい個所

バルブ

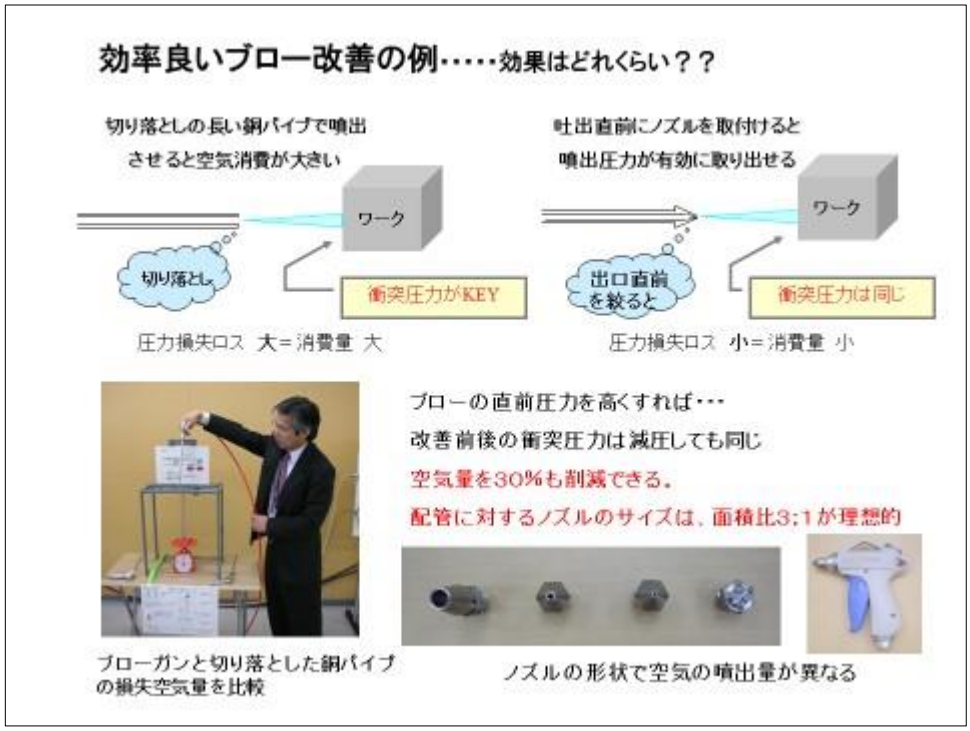
ブローガン

レギュレータ

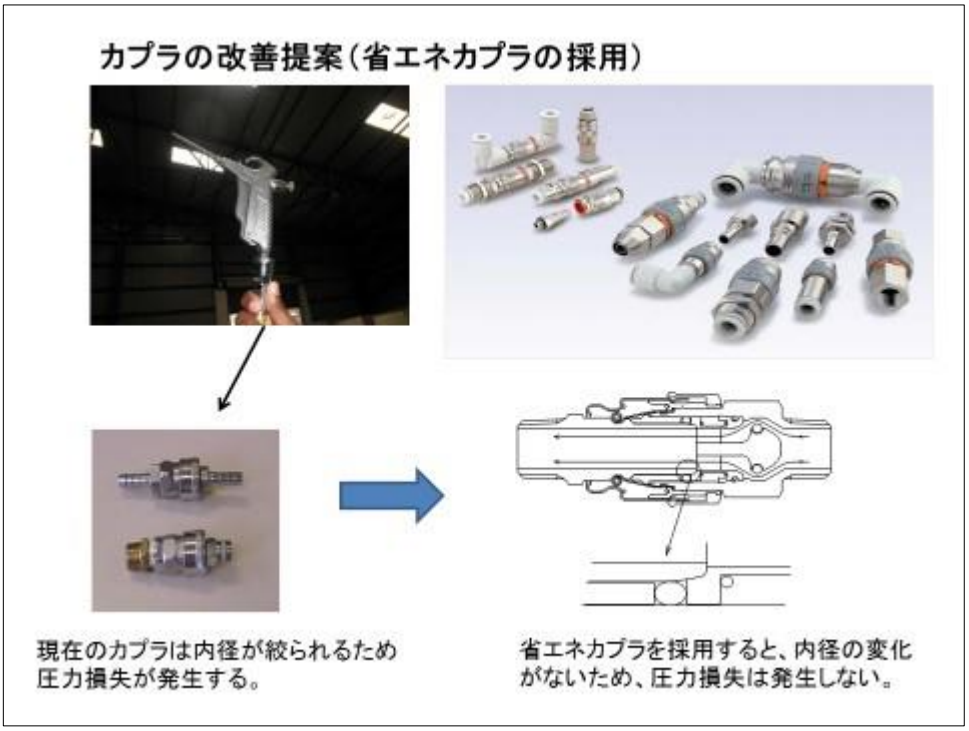
配管継ぎ手

これらから発生するエアー漏れは少なくとも5%、平均的な工場では全体の20%にも達すると言われています。せっかく圧縮したエネルギーを無駄にしないよう常に調査することが必要です。
漏れ量は圧力降下計算で算出ができるため、確認いただき、漏れ力所を特定して削減を図ると効果的です。
削減目標は半減です。5%の漏れ削減で年間89Tonの削減が可能です。

◈ブローガンの改善

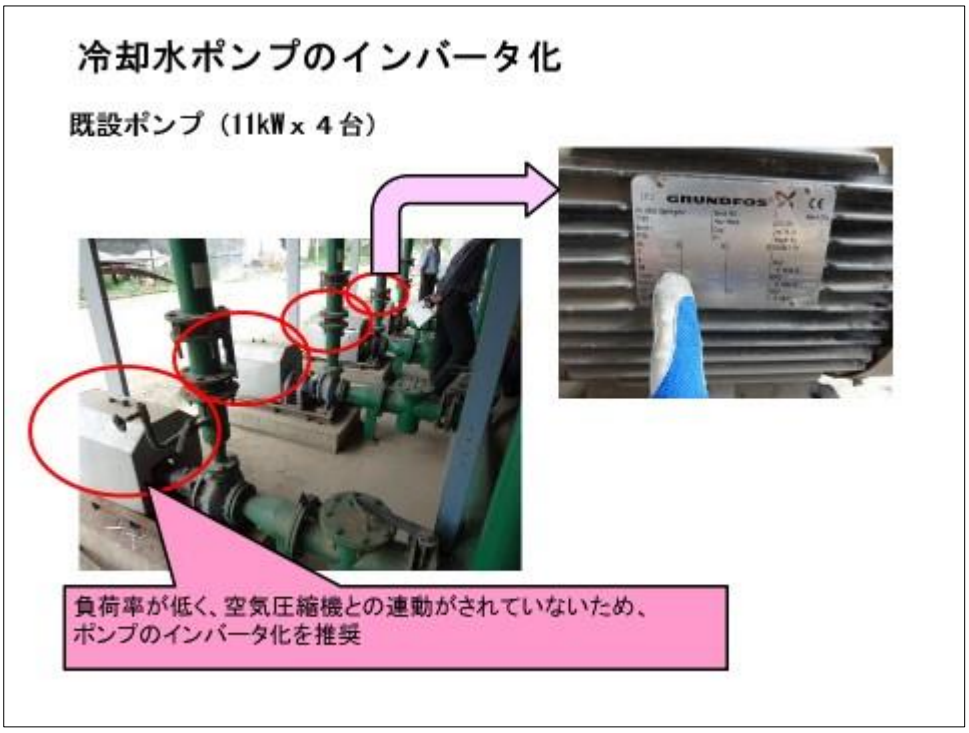


◈省エネカプラの採用



◈レシーバタンクの簡易点検

◈その他（冷却水ポンプのインバータ化）



[まとめ（CO2 削減）提案]

1.圧縮機を効率良く使う

・吐出圧力を下げる。

・ブースター圧縮機の提案・・・全体の圧力を下げる効果で、**6%のエネルギー削減 CO2 換算では 107Ton の削減が可能**

・インバータ圧縮機の有効活用

・Centrifugal＋スクリュー圧縮機の組み合わせ・・・新工場への提言

・冷却用ポンプのインバータ化

2.ムダをなくす

・漏れの低減～まず現状調査から・・・**漏れ半減活動で年間 89Ton の削減を可能に**

・ブローガンの改善・・・エアー消費を 30%削減

・省エネカプラの採用・・・圧力損失を改善

3.環境を整える・・・最大 5%のエネルギー削減改善が図れる。

・FRESH、COLD、DRY の環境をつくる。

・プレ吸入フィルタの定期的な清掃

4.レシーバタンクの簡易点検

5.エネルギー監視・・・FEMS 採用による CO2 削減活動へ

・監視システムの採用

(3)-3 Arvind Pvt. Ltd.（繊維業）

インドで一番大きいデニム会社。3 つの工場を持っている。

工場での総電力消費量は 220,000kWh/day で,圧縮機で消費する動力は全体の 30%にも達する。

系列の会社を含め、7 台の Centrifugal と 11 台のスクリュー圧縮機を有する。

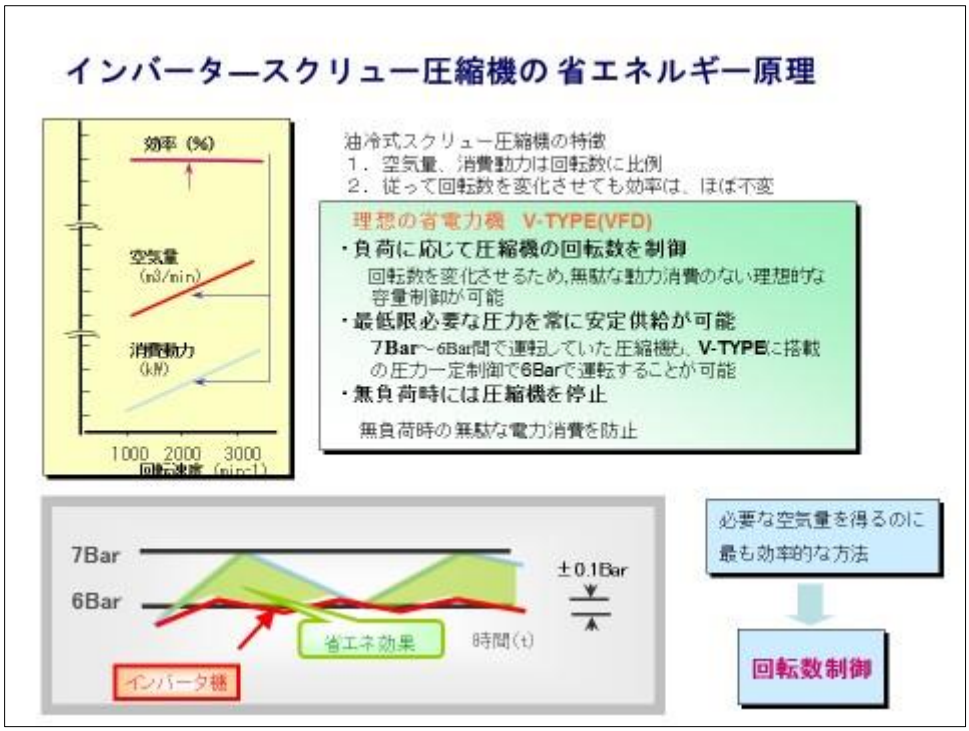
現在の稼働は Centrifugal が中心となって運転が行われているが、1000cfm 程度の負荷変動を生じる。これをインバータスクリュー圧縮機と組み合せて使うと年間では 640,000kWh もの省エネができる可能性がある。

マネージャーは Ahmedabad の工場から Pune で行われた Workshop へも参加されたほど熱心で省エネルギーには関心が高く、いろいろな提案を切望されている。

今回のリポートで提案した内容は下記のとおりである。

[ハード面（機器側）]

◈インバータ圧縮機の導入/有効利用



◈高効率ドレントラップの採用

高効率のドレントラップを推奨（排出エアーの削減）

BEKOMATホームページより引用
圧縮空気の生成過程にともなう、不必要なダメージやコストを効率的に回避するには、実際のドレン量に応じたドレン排出が要求されます。
このための容量レベルセンサを装備したBEKOMATドレン排出では、インテリジェント電子制御が圧縮空気のロスおよびエネルギー消費を最小限に抑えます。その結果、タイム制御式の排出バルブを採用した場合と比較すると、すでに半年間で初期投資を回収することが可能です。

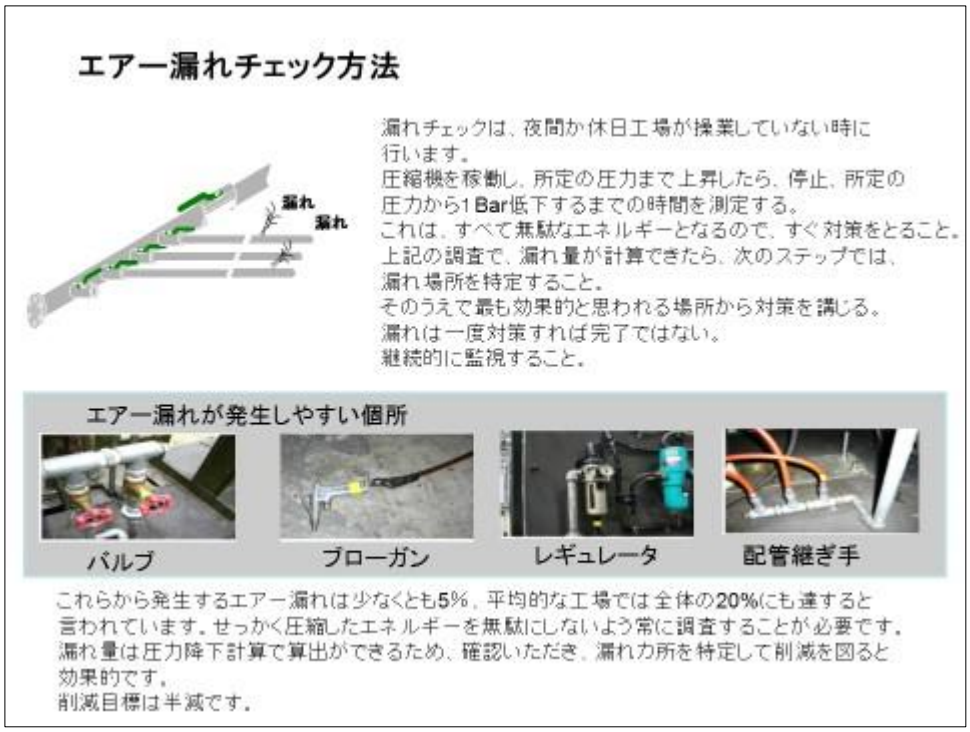
参考
穴から噴出するエアー量（φ2㎜）
・2Bar　0.11m3/min(3.8cfm)
・4Bar　0.18m3/min(6.3cfm)
・7Bar　0.29m3/min(10cfm)
穴から噴出するエアー量（φ3㎜）
・2Bar　0.24m3/min(8.4cfm)
・4Bar　0.41m3/min(14cfm)
・7Bar　0.65m3/min(23cfm)

$$Q=687\ \frac{60Ca}{J}\ \sqrt{P1/V1}$$

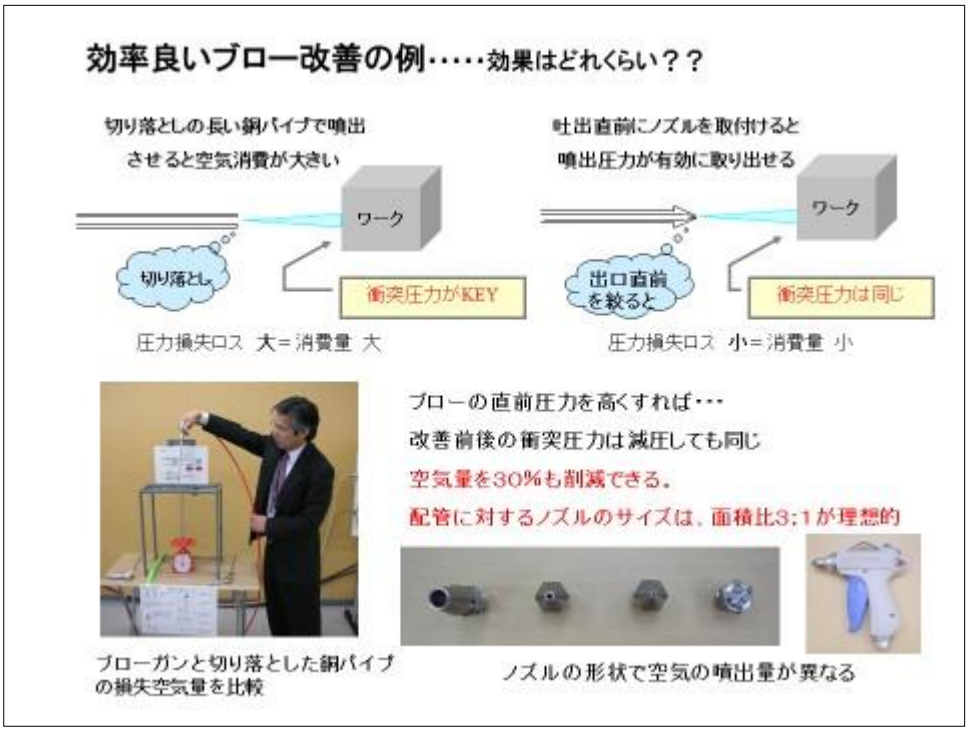
Q;噴出量
C;流量計数
a;穴の最狭部面積
J;空気の密度
P1;穴の前におけるガスの絶対圧力
V1;穴の前におけるガスの比容積

[ソフト面（運用改善側）]

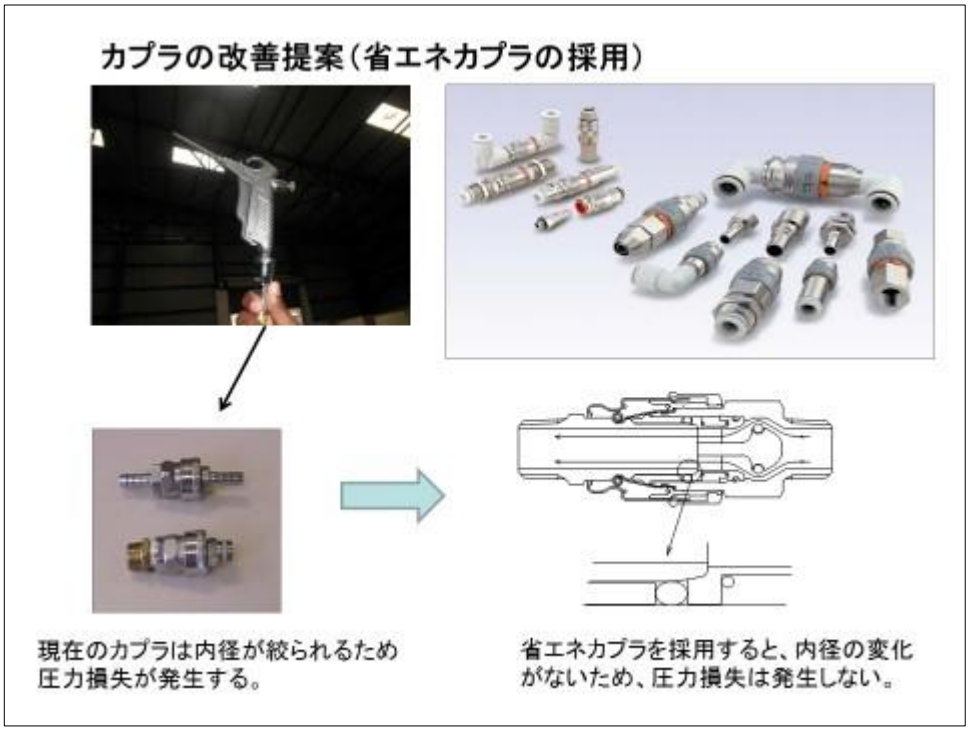
◈漏れの低減



◈ブローガンの改善



◈省エネカプラの採用



◈プレ吸入フィルタの定期清掃

◈レシーバタンクの簡易点検

◈その他（冷却用ポンプのインバータ化）

◈その他（油煙処理）

[まとめ（CO2 削減）提案]

1.圧縮機を効率良く使う

・インバータ圧縮機の有効活用・・・負荷変動分をスクリュー圧縮機と組み合わせることにより、**1000cfm の変動を抑えると 80kW ほど効果が得られる。CO2 換算では 647Ton になる。**

・Centrifugal＋スクリュー圧縮機の組み合わせ

・冷却用ポンプのインバータ化

2.ムダをなくす

・漏れの低減～まず現状調査から・・・5%の漏れ削減で大きな効果が得られる。
本工場の場合、工場規模が大きいので遮断弁の設置が適している。

・インタークーラ、アフタークーラブローを止め、ドレントラップを採用する。
効率の良いドレントラップの採用でエアー損失量を 1/3 に削減可能。
5 台分 15 個の設置で、年間 1,000,000Rp の節約ができる。CO2 換算で 155Ton

・ブローガンの改善・・・エアー消費を 30%削減

・省エネカプラの採用・・・圧力損失を改善

3.環境を整える・・・最大 5%の CO2 削減化を達成することができる。

・FRESH、COLD、DRY の環境をつくる。

・プレ吸入フィルタの定期的な清掃

4.レシーバタンクの簡易点検

5.エネルギー監視・・・FEMS を利用した新しい CO2 削減活動へ

・監視システムの採用

(3)-4 Bombay Dyeing Ltd.（繊維業）

同じ繊維業界でも布を取り扱う工場。もともとは Mumbai にあった工場を移転した。

現在の工場規模は中程度であるが、生産量を 2 倍の工場にする計画がある。

工場全体の電力消費量は、220,000kWh/day で圧縮機比率は約 8%程度である。

現在 2 か所に 6 台の圧縮機があり、内 4 台が稼働している。

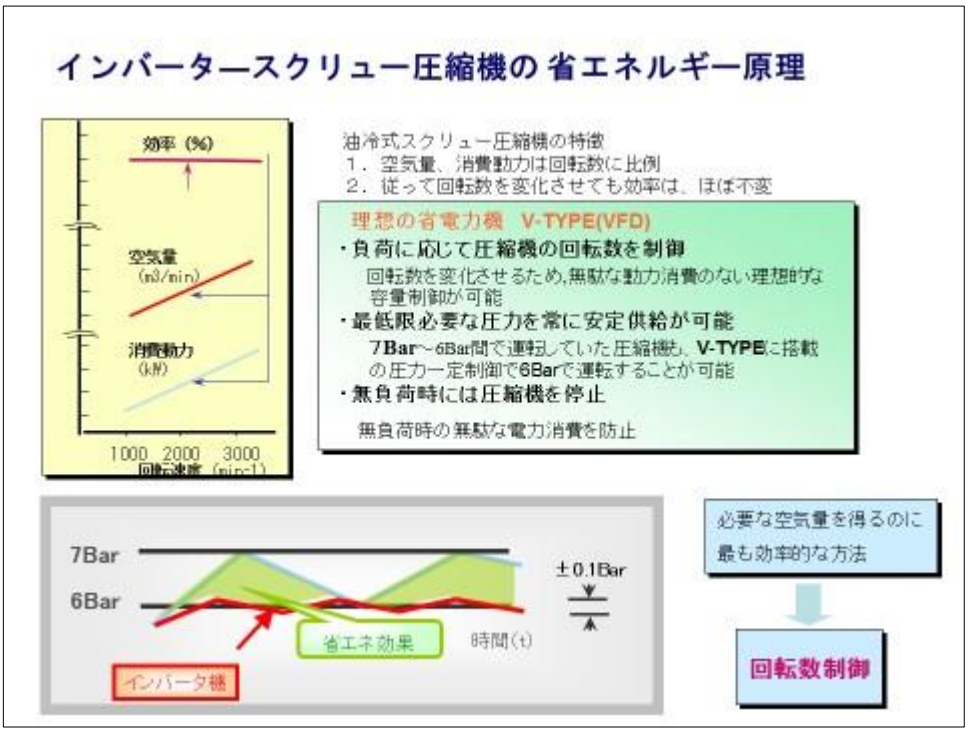
当社に対しては一台をインバータ化することを提案しており、採用されると年間 60,830kWh ほどの電力削減が期待できる。

また、当社では 100 本ほどのエアーシリンダが使われているため、エアー量削減のため、エアーセイビングバルブの採用も提案している。

今回のリポートで提案した内容は下記のとおりである。

[ハード面（機器側）]

◈インバータ圧縮機の導入



[ソフト面（運用改善側）]

◈吐出圧力の低下

吐出圧力を下げて省エネルギーに

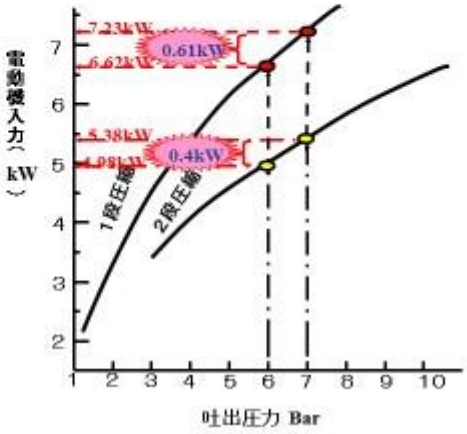
吐出圧力を下げた時の効果例

圧縮機の吐出圧力は必要以上に高くありませんか？
圧力を下げれば省エネになります。
圧力を下げることを提案します。
1段圧縮機の場合、現状より1bar落とせば8%の省エネが可能です。

貴社設備の場合、トータル容量が120kWほどです。
これを8%さげることが可能なら、
120kWx0.08＝9．6kWもの省エネが可能になります。
年間7200時間稼働したとすれば、
9.6kW×7200h＝69,120kWh
CO2換算では、64Tonにもなります。
圧力を下げることが可能か、まず調査から始めてください。

末端で7Bar必要ですか？
1Bar下げてみましょう。
スクリュー圧縮機では1 Bar下げると8%も省エネができます。

吐出圧力を低減して省エネ化を図る



◈漏れの低減

エアー漏れチェック方法

漏れチェックは、夜間か休日工場が操業していない時に行います。
圧縮機を稼働し、所定の圧力まで上昇したら、停止、所定の圧力から1Bar低下するまでの時間を測定する。
これは、すべて無駄なエネルギーとなるので、すぐ対策をとること。
上記の調査で、漏れ量が計算できたら、次のステップでは、漏れ場所を特定すること。
そのうえで最も効果的と思われる場所から対策を講じる。
漏れは一度対策すれば完了ではない。
継続的に監視すること。

エアー漏れが発生しやすい個所

バルブ

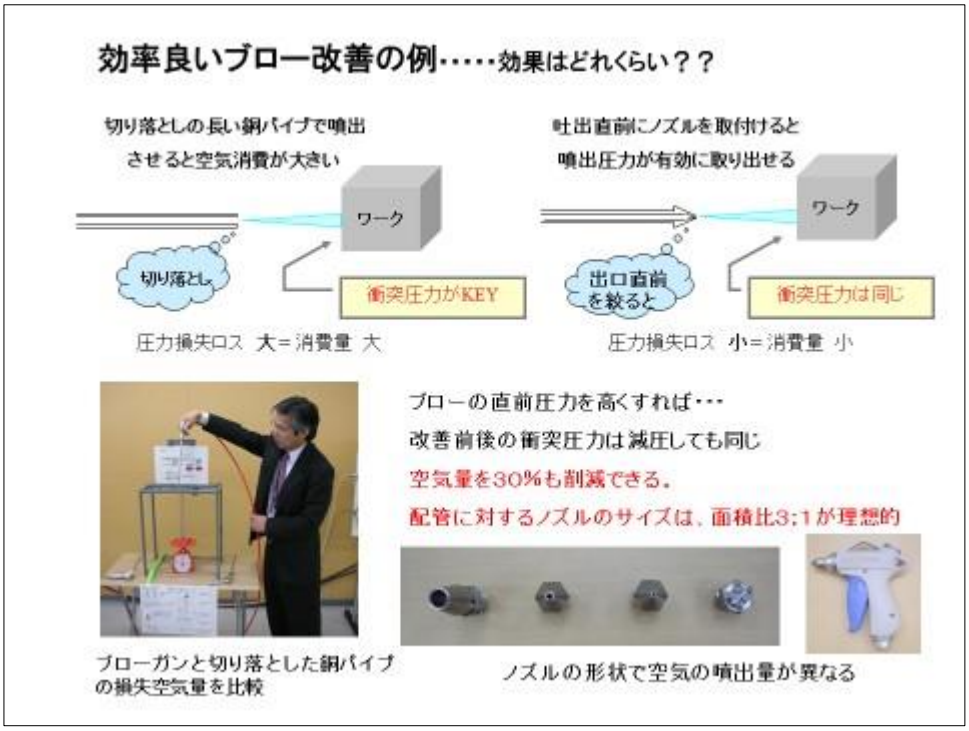
ブローガン

レギュレータ

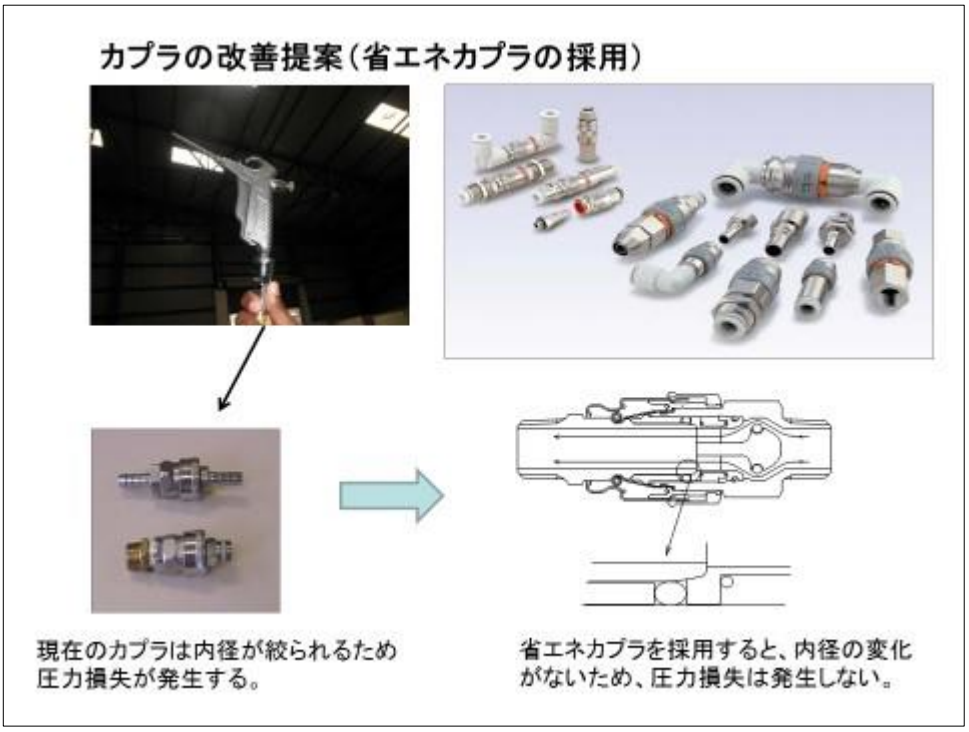
配管継ぎ手

これらから発生するエアー漏れは平均的な工場で全体の20%にも達すると言われている。
漏れ量は前頁の計算で算出ができるため、確認いただき、漏れ力所を特定して削減を図ると効果的です。
削減目標は半減です。

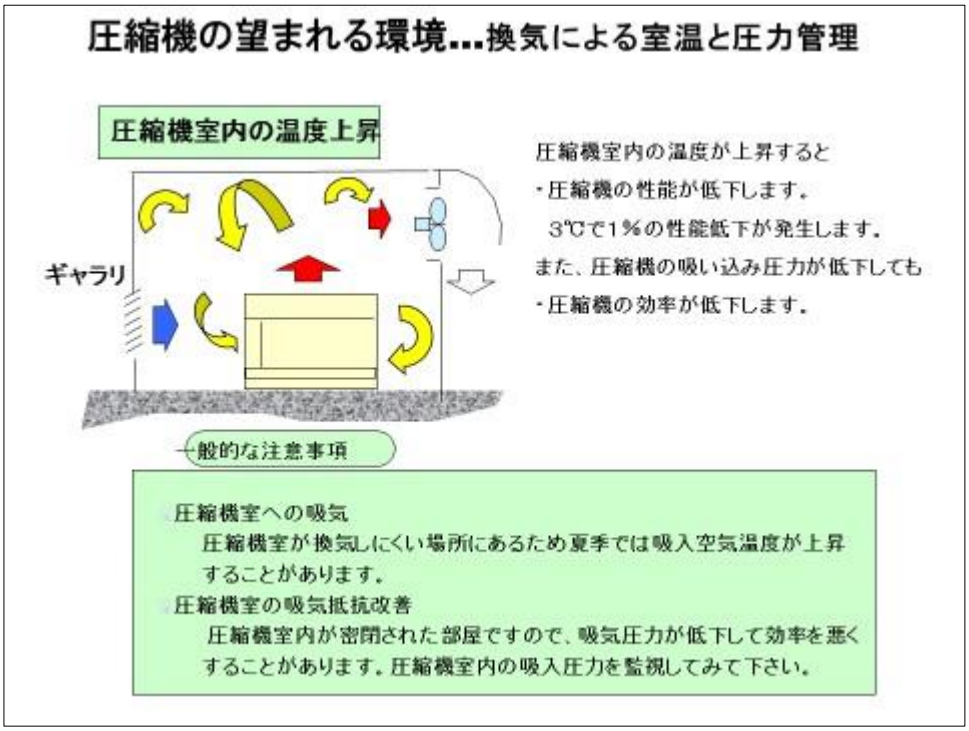
◈ブローガンの採用

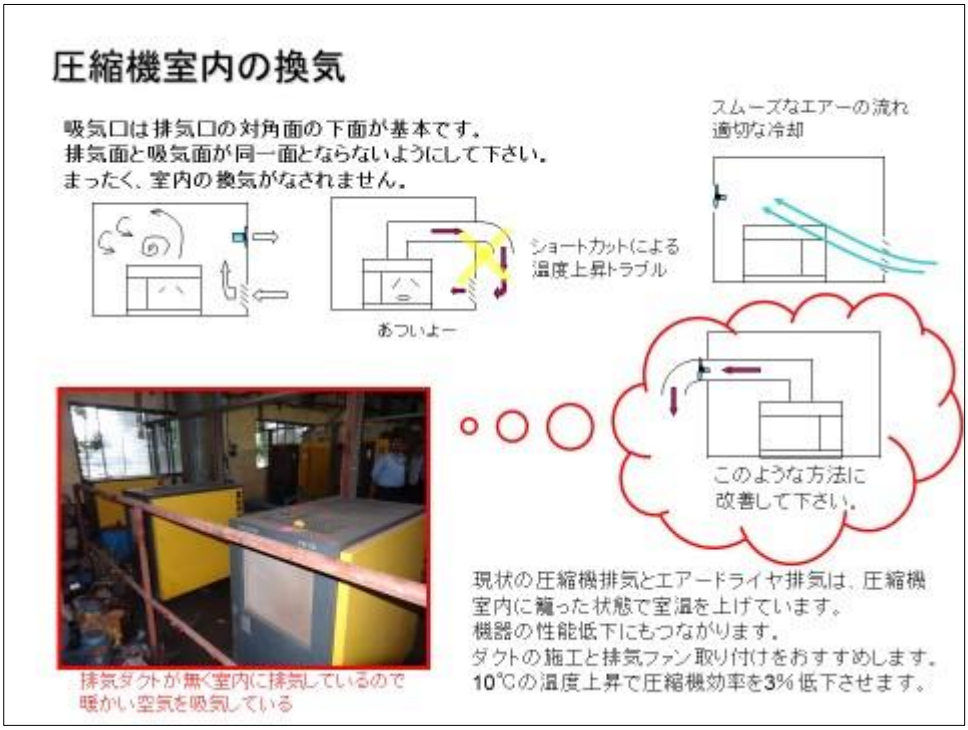


◈省エネカプラの採用



◈圧縮機室内の換気


圧縮機の望まれる環境…換気による室温と圧力管理
圧縮機室内の温度上昇
ギャラリ
圧縮機室内の温度が上昇すると
・圧縮機の性能が低下します。
3℃で1％の性能低下が発生します。
また、圧縮機の吸い込み圧力が低下しても
・圧縮機の効率が低下します。
一般的な注意事項
圧縮機室への吸気
圧縮機室が換気しにくい場所にあるため夏季では吸入空気温度が上昇することがあります。
圧縮機室の吸気抵抗改善
圧縮機室内が密閉された部屋ですので、吸気圧力が低下して効率を悪くすることがあります。圧縮機室内の吸入圧力を監視してみて下さい。


圧縮機室内の換気
吸気口は排気口の対角面の下面が基本です。
排気面と吸気面が同一面とならないようにして下さい。
まったく、室内の換気がなされません。
ショートカットによる
温度上昇トラブル
あついよー
スムーズなエアーの流れ
適切な冷却
このような方法に
改善して下さい。
排気ダクトが無く室内に排気しているので
暖かい空気を吸気している
現状の圧縮機排気とエアードライヤ排気は、圧縮機室内に籠った状態で室温を上げています。
機器の性能低下にもつながります。
ダクトの施工と排気ファン取り付けをおすすめします。
10℃の温度上昇で圧縮機効率を3％低下させます。

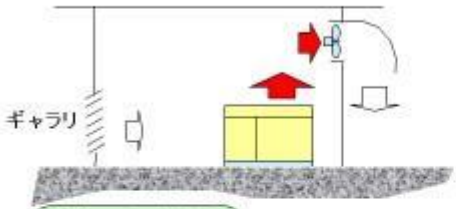
圧縮機室内の全体換気と換気扇の容量･･･ご参考

HITACHI Inspire the Next

全体換気の場合の必要換気量

$$Q = \frac{n \times H}{0.0753 \times \Delta T}$$

Q: 必要換気量 (m3/min)
H: 1台あたりの発生熱量(MJ/h)
(1kW＝3.6MJ/h)
n: 据付け台数
T: 許容温度上昇
(外気温35℃、圧縮機許容最高温度45℃とすると
ΔT＝45-35＝10℃)



貴社の必要換気量

たとえば30kWの圧縮機が3台稼働することを条件に、必要換気量を計算します。

エアードライヤーの発生熱量は入力値で800Wとします。

$$Q = \frac{3.6x(30/0.9+0.2)kWx3}{0.0753x10} = 480M3/min$$

つまり、現状では100M3/minの有圧換気扇を5基設置することが望ましい状況です。

実際にはこれを施工するには無理がありますので、ダクト施工し、これを温度コントロールされるようにしてください。

ダクト施工された場合は、現状の排気ファンの容量で十分です。

All Rights Reserved Hitachi Industrial Equipment Systems

◈レシーバタンクの簡易点検

レシーバタンクの検査内容･･･AIR VESSELの規制

腐食、漏れ、機能
設定圧力、作動

割れ、損傷、磨耗、腐食

表示、汚れ、機能

磨耗、腐食、変形
ボルトの緩み、脱落

腐食、漏れ、割れ

腐食状況の定期診断
タンクの肉厚測定

内部のカーボン除去
火災、発火事故の未然防止

◈その他（ドレン処理装置の設置）

[まとめ（CO2 削減）提案]

1.圧縮機を効率良く使う

・吐出圧力を下げる・・・**CO2 換算で 64Ton の削減**

・インバータ圧縮機の有効活用・・・**CO2 換算で 56Ton の削減**

平日の動きをみる必要がある。前回訪問時には 17%の改善効果

2.ムダをなくす・・・**5%の漏れ削減で CO2 換算 40Ton 削減**

・漏れの低減～まず現状調査から

・効果的なブローガンの採用・・・エアー量を 30%削減

・省エネカプラの採用・・・圧力損失の改善

3.環境を整える・・・**最大 5%の削減効果。CO2 換算で 40Ton の削減**

・FRESH、COLD、DRY の環境をつくる。

・ドレン処理装置の設置・・・環境保護の観点から

4.配管施工のご注意点・・・トラブル防止とエネルギー削減に向いた配管

5.換気対策方法・・・換気対策で室内温度を下げ、エネルギー削減に

6.レシーバタンクの簡易点検

7.エネルギー監視・・・FEMS を応用した新しい CO2 削減活動へ

・監視システムの採用

8.計測診断の活用

(3)-5 Ahmednagar Ltd.（鍛造業）

世界有数の鍛造グループに所属、クランクシャフト等の鍛造品を製造している。

当社で使用する電力量は 230,000kWh/day と大きく、うち圧縮機のエネルギー量は 15～20％相当である。

現在 5 台の圧縮機中、4 台が稼働中であり、1 台インバータに改造された機もある。

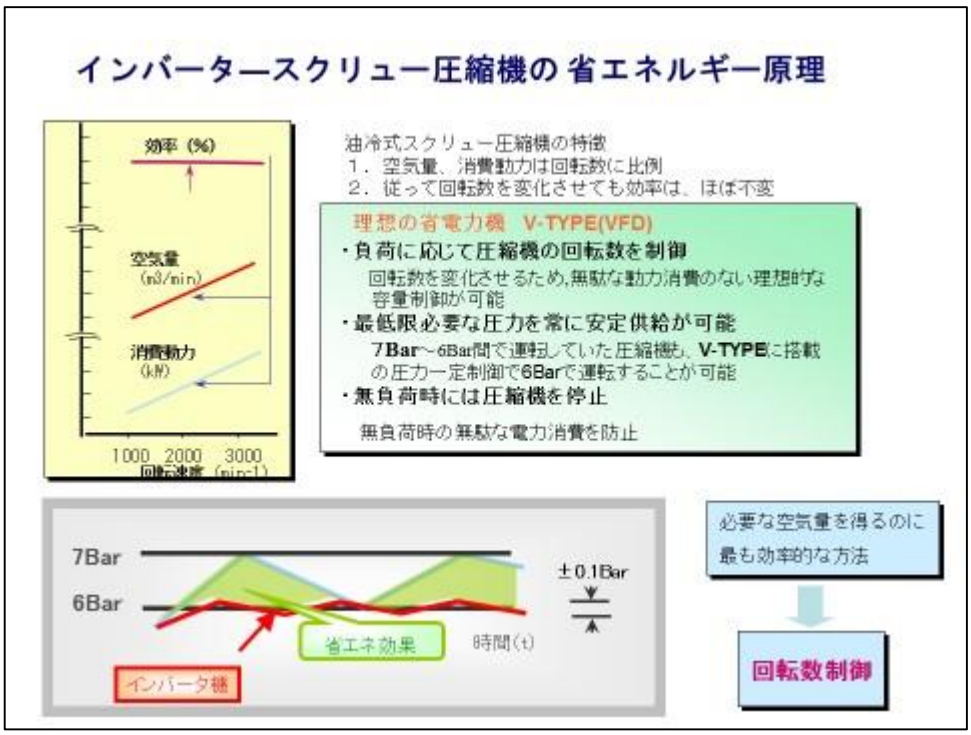
しかしながら、インバータ圧縮機は機能しておらず、無駄なエネルギーを消費している。このインバータ機はレトロフィットされたもので特性がわかっていない。このため、最新型のインバータ機と入れ替えることによって約 350,000kWh ものエネルギー削減ができる。初期投資額は大きくなるが、わずか 2 年ほどで回収ができる。

その他にもエネルギー削減できる方法が多くあり、提案した。

今回のリポートで提案した内容は下記のとおりである。

[ハード面（機器側）]

◈インバータ圧縮機の導入/有効利用



インバータースクリュー圧縮機の有効活用

137.4kWと表示
計測診断では平均
143.1kW

インバータ機が正しく機能していません。
負荷変動にも対応していないようです。
計測診断では45. 0kWのムダが確認されましたが、本来は1台停止できるはずです。
停止が可能であれば、115kWほども省エネができるようになります。
まずは、インバータ機が正しく応答するように設定を変える必要があります。
レトロフィットされた圧縮機がそれほどの効果が出ないようでしたら、新規にインバータ圧縮機を
購入された方が省エネになります。
45kWの省エネは、年間342,000kWです。CO2換算で318Ton
年間2,308,500Rpの効果が出ます。
新規設備更新しても2.5年以内での投資回収ができます。

◈二段圧縮機の導入

2段圧縮機採用による省エネ

HITACHI
Inspire the Next

効率良く圧縮機を使うなら、2段圧縮機の採用を検討してください。
2段圧縮機の場合、理論上原単位が15～18%も良くなります。
（ただし、負荷変動の大きい設備は分割の方が省エネになります）

ELGI1,2

160kW
（1段圧縮機）

提 案

2段圧縮機
の採用

160kW（2段圧縮機）

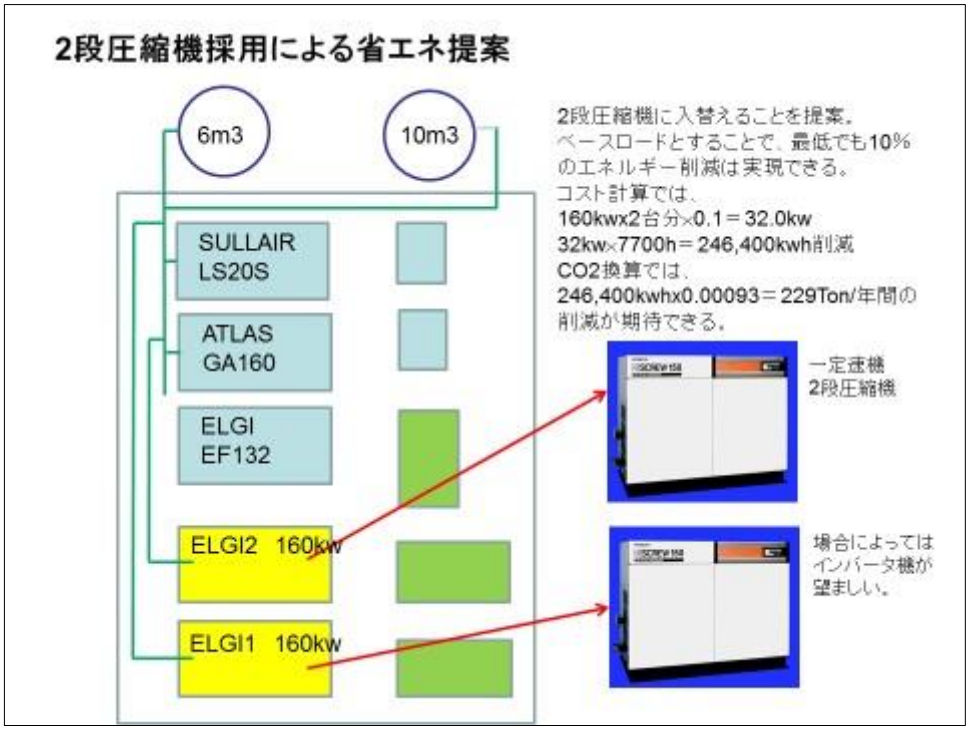
	160kW圧縮機1台	160kW圧縮機1台
消費動力(入力)kW	168	174.0
吐出し空気量 m³/min	25.9	30.0
原単位 kW/(m³/min)	6.49	5.8

※ 原単位 ＝ 消費動力 ÷ 吐出し空気量

原単位では、なんと
15%もの差が出ます！

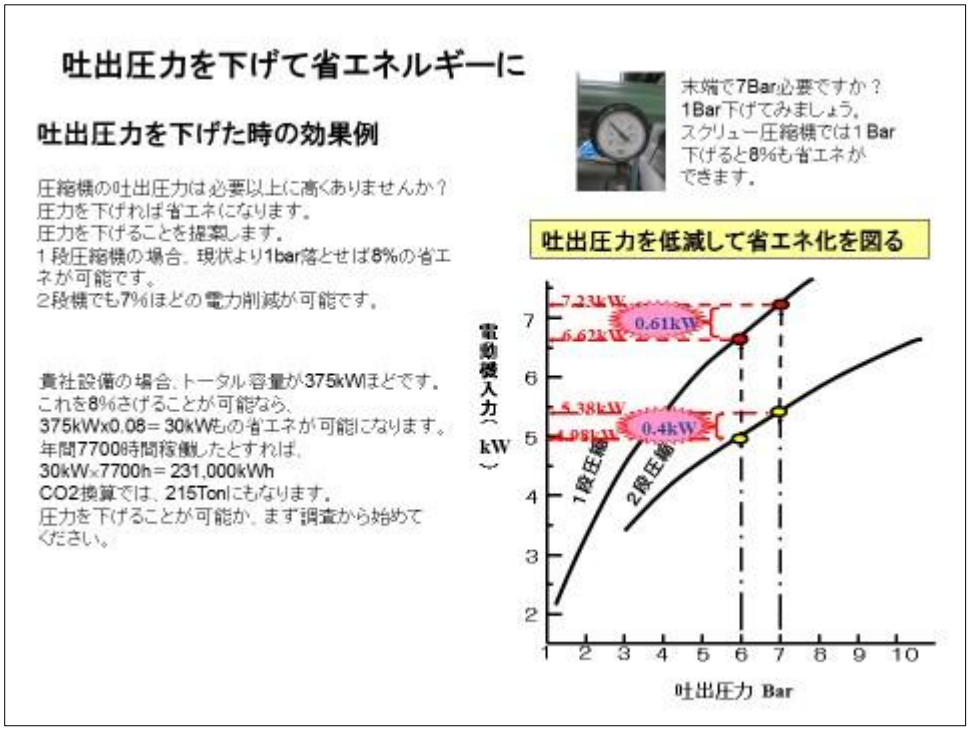
5%ほど少ないと判断します.
とすると原単位は6.8

© Hitachi Industrial Equipment Systems Co.,Ltd. 2002-2013. All rights reserved.



[ソフト面（運用改善側）]

◈吐出圧力の低下



◈漏れの低減

エアー漏れチェック方法

漏れチェックは、夜間か休日工場が操業していない時に
行います。
圧縮機を稼働し、所定の圧力まで上昇したら、停止、所定の
圧力から1 Bar低下するまでの時間を測定する。
これは、すべて無駄なエネルギーとなるので、すぐ対策をとること。
上記の調査で、漏れ量が計算できたら、次のステップでは、
漏れ場所を特定すること。
そのうえで最も効果的と思われる場所から対策を講じる。
漏れは一度対策すれば完了ではない。
継続的に監視すること。

エアー漏れが発生しやすい個所

バルブ

ブローガン

レギュレータ

配管継ぎ手

これらから発生するエアー漏れは少なくとも5%、平均的な工場では全体の20%にも達すると
言われています。せっかく圧縮したエネルギーを無駄にしないよう常に調査することが必要です。
漏れ量は圧力降下計算で算出ができるため、確認いただき、漏れカ所を特定して削減を図ると
効果的です。
削減目標は5%削減です。貴社の場合、375kW×0.05＝18..8kWの削減を掲げて下さい。

◈埋没配管の取り止め

配管施工上の注意…埋設配管の危険性

埋設配管(配管腐食しエアー漏れの原因となる)

埋設配管は、配管が地上に出ないため行われるケースが見られるが、実は
長く使っていると必ず配管が腐食し、大量のエアー漏れが発生してしまう。
しかしながら、この漏れは発見が困難であるうえ補修も困難である。
埋設配管で、圧縮空気の50%が漏れた例も報告されている。
埋設配管はできるだけ地上配管へ変更すると良い。
止むを得ず施工しなければならない場合は、ピットに入れる方法を取る。

◈レシーバタンクの簡易点検

◈その他（ドレン処理装置の設置）

[まとめ（CO2 削減）提案]

1.圧縮機を効率良く使う・・・台数制御盤の入替も検討を要する。

・吐出圧力を下げる・・・**CO2 換算で 215Ton の可能性**

・インバータ圧縮機の有効活用・・・**CO2 換算で 343Ton の可能性**

あるいはインバータ機を新しく投入することにより、よりエネルギー削減に

・2 段圧縮機の採用・・CO2 換算で 238Ton の可能性

2.ムダをなくす・・・5%の漏れ改善は **CO2 換算で 134Ton の可能性**

・漏れの低減～まず現状調査から

・埋設配管をやめる～配管を地上に出す。

3.環境を整える・・・3～5%の改善は **CO2 換算で 80Ton の可能性**

・FRESH、COLD、DRY の環境をつくる。

・環境問題からドレン処理装置を設置する・・・環境保護の観点

4.レシーバタンクの簡易点検を行う。

5.エネルギー監視・・・FEMS の活動を利用した新しい CO2 削減活動へ

・監視システムの採用

6.計測診断の活用

(3)-6 Mahindra Hinoday Ltd.（鋳造業）

中規模の鋳造工場で、創業当初は日本の企業から技術援助があった。

工場全体での電力使用量は 216,000kWh/day であり、圧縮機はこのうち 8%ほどの比率。

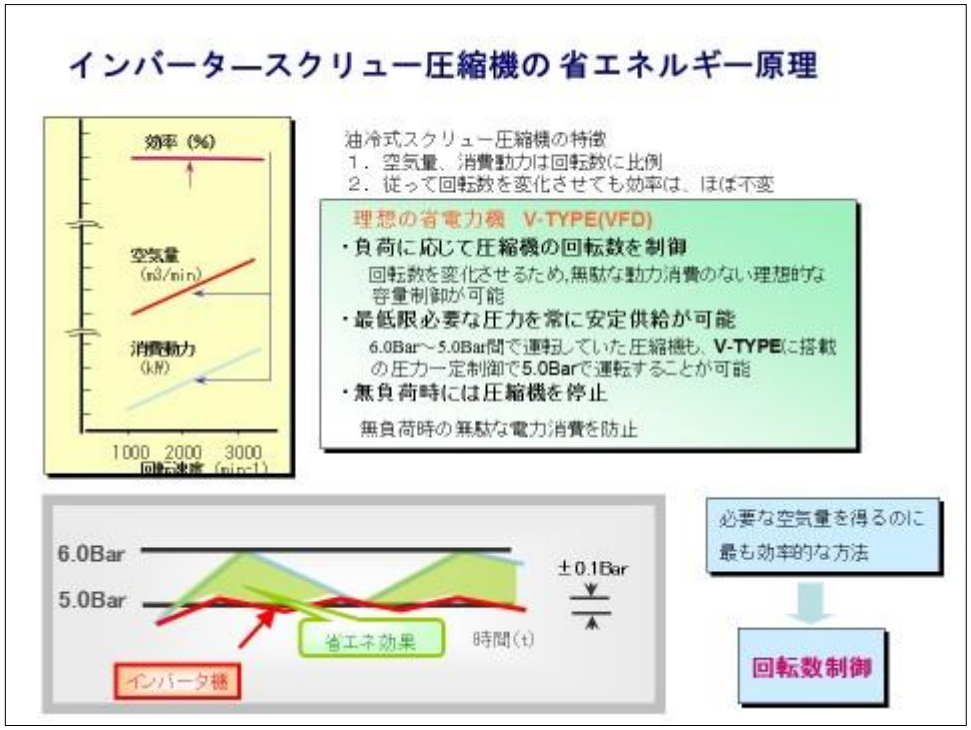
3 つの工場に分かれており、圧縮機も 3 か所に分散設置されている。このため、全体制御ができず、無駄な運転が行われている。大きな設備投資となるが、圧縮機を大型化し、集中化することによって年間最低でも 300,000kWh のエネルギー削減ができる可能性を持っている。

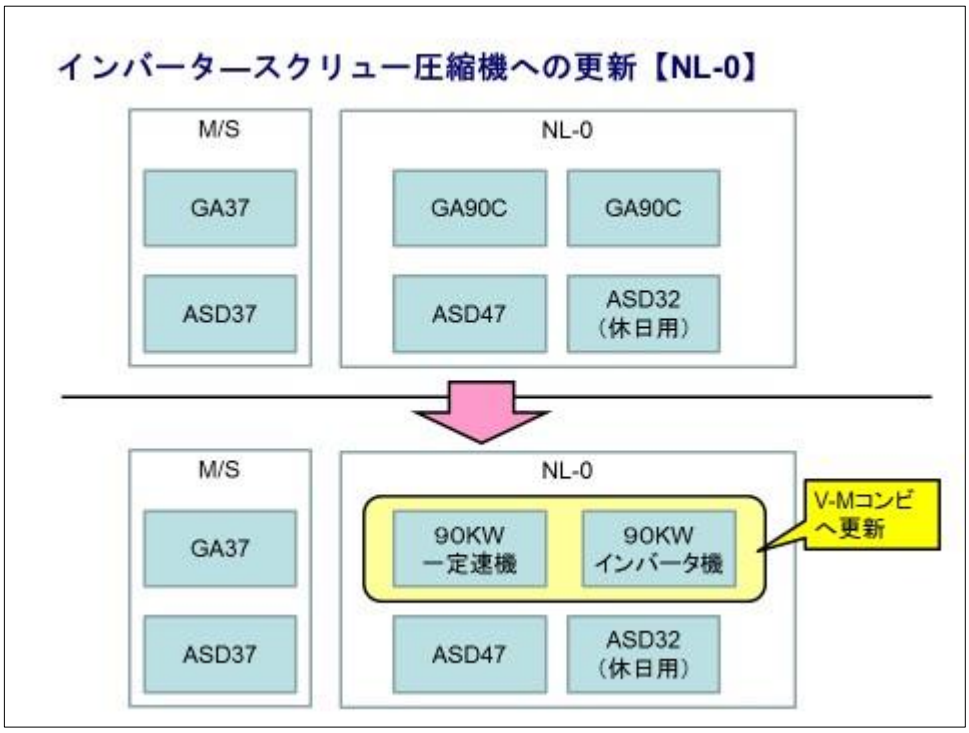
また、現在の設備では漏れが大きく、配管の改善を行う必要がある。お客様側の試算では、約 40%ものエアー漏れがあると報告されており、これは一般的な工場の 2 倍の漏れ量に達する。早急なる改善が必要である。

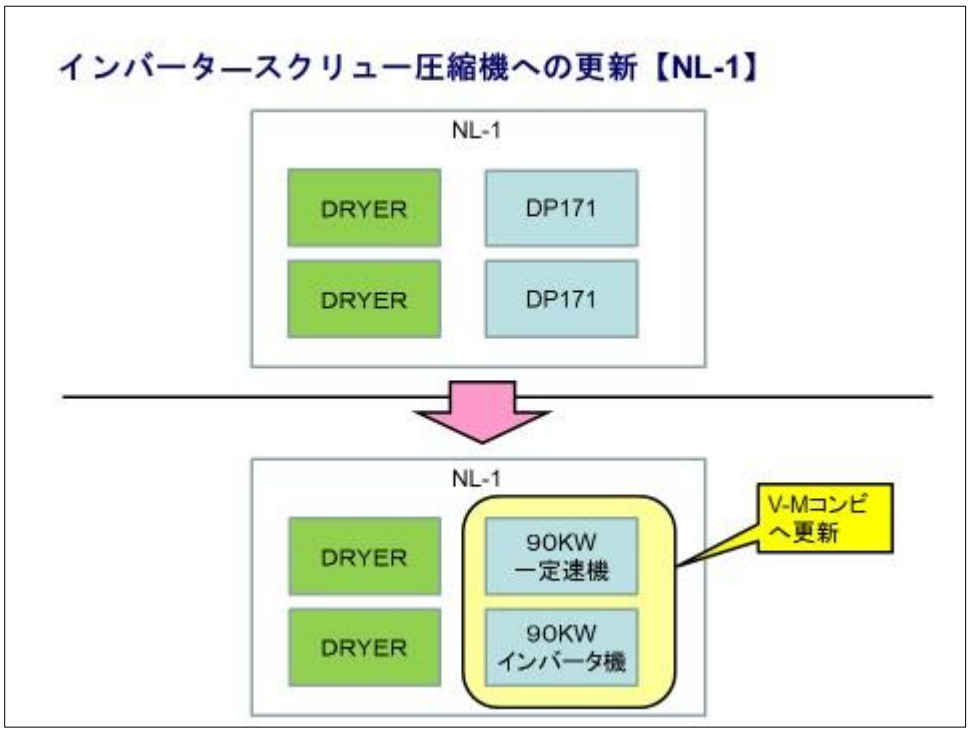
今回のリポートで提案した内容は下記のとおりである。

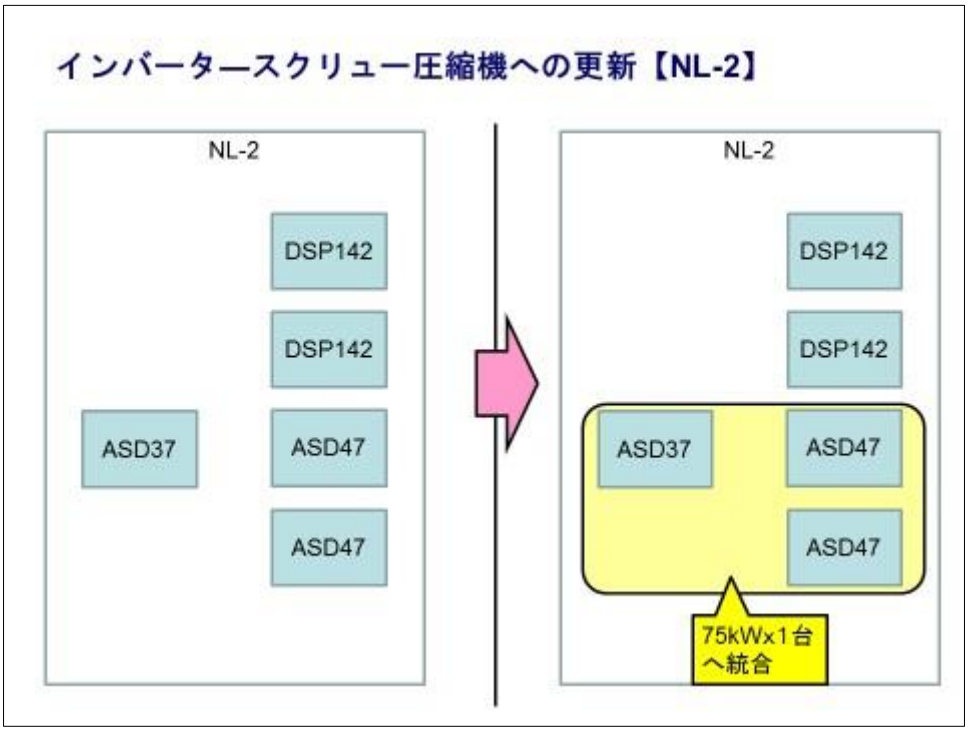
[ハード面（機器側）]

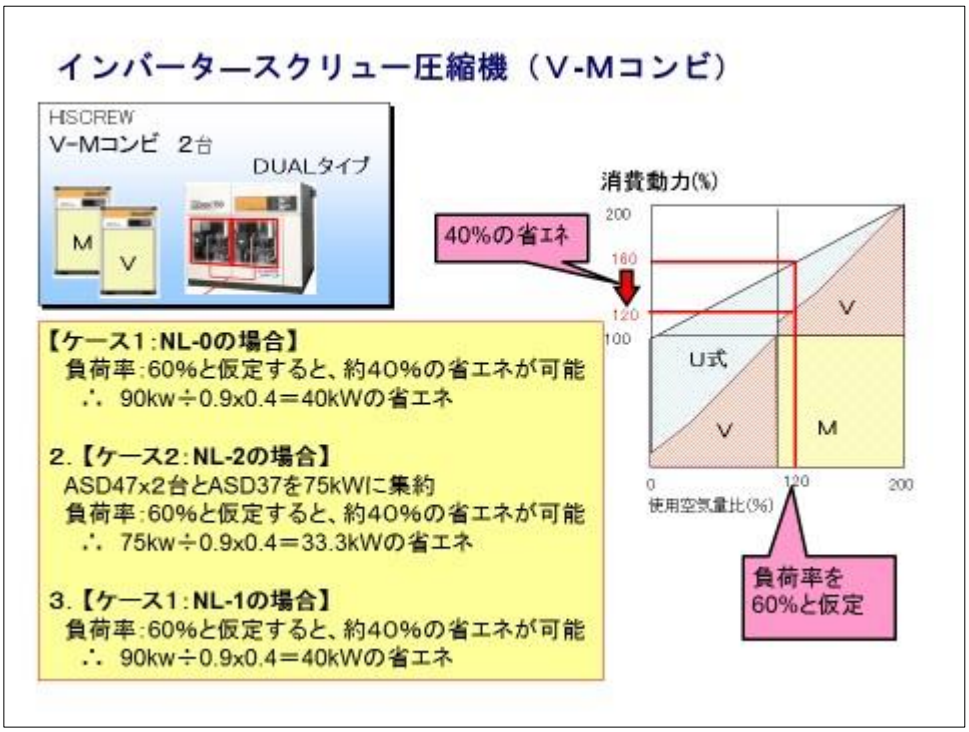
◈インバータ圧縮機の導入



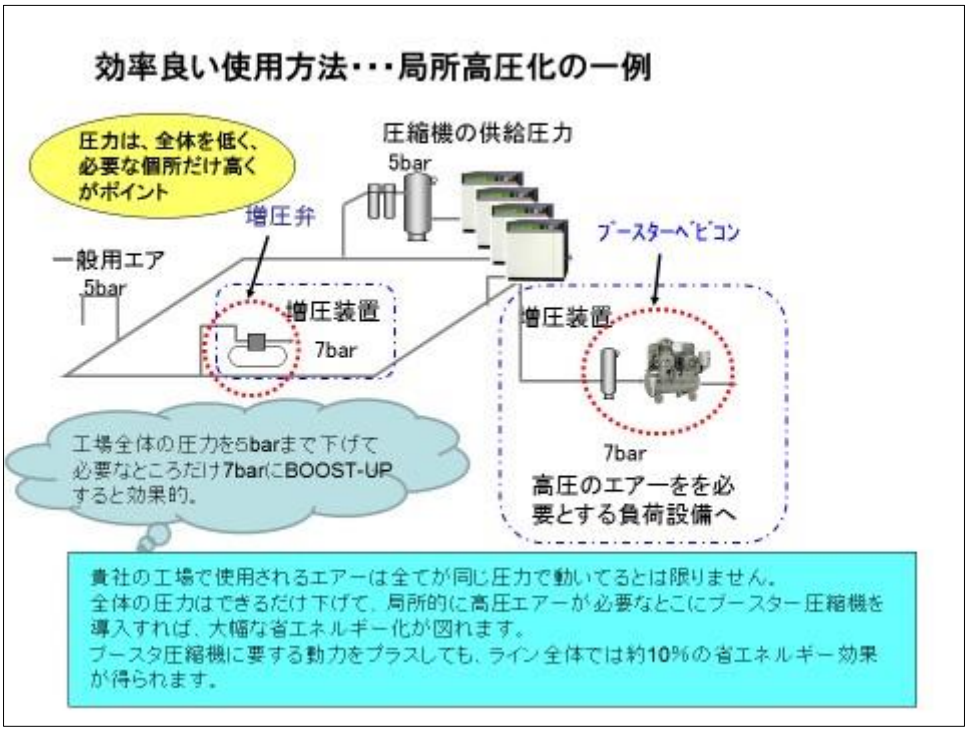


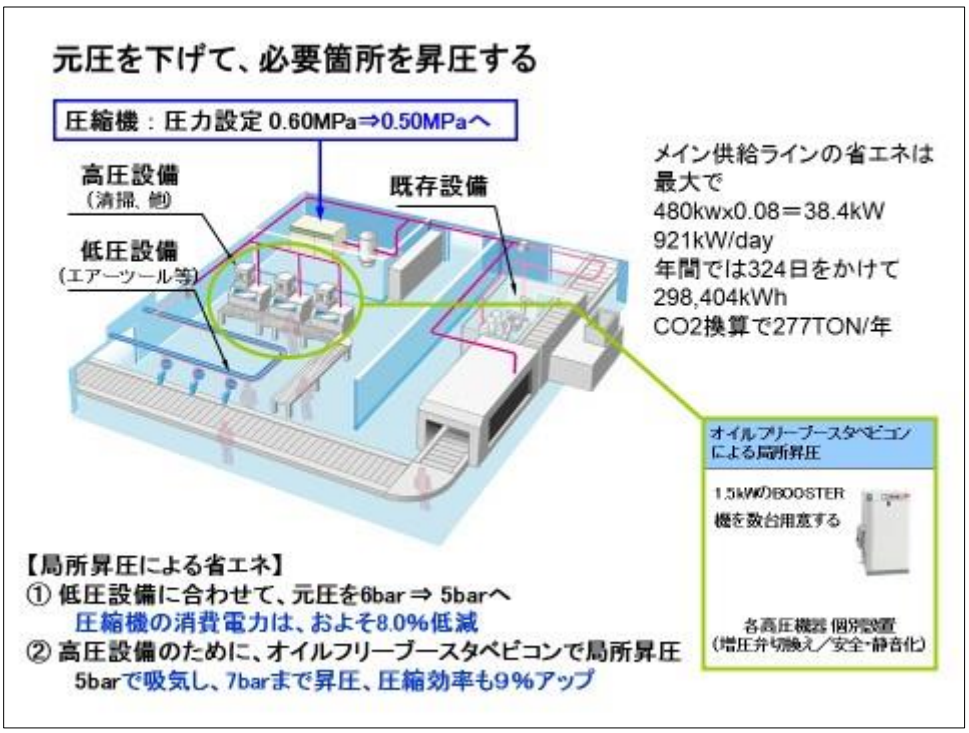

インバータースクリュー圧縮機への更新【NL-1】
NL-1
DRYER
DP171
DRYER
DP171
NL-1
DRYER
DRYER
90KW
一定速機
90KW
インバータ機
V-Mコンピ
へ更新


インバータースクリュー圧縮機への更新【NL-2】
NL-2
DSP142
DSP142
ASD37
ASD47
ASD47
NL-2
DSP142
DSP142
ASD37
ASD47
ASD47
75kWx1台
へ統合

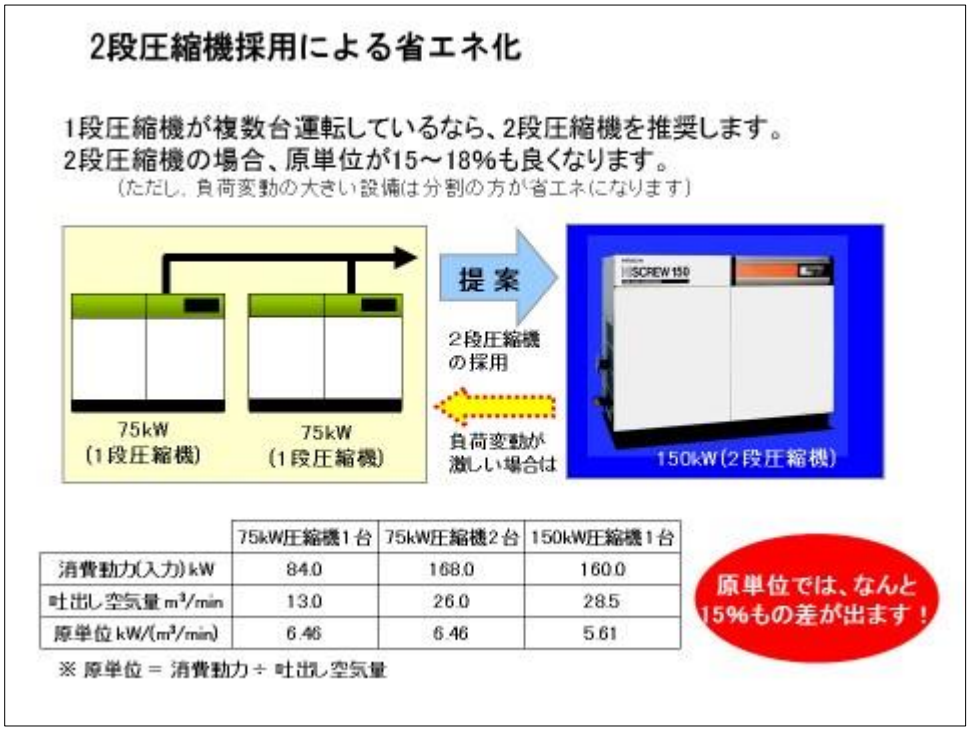


◈ブースター圧縮機の採用





◈二段圧縮機の採用

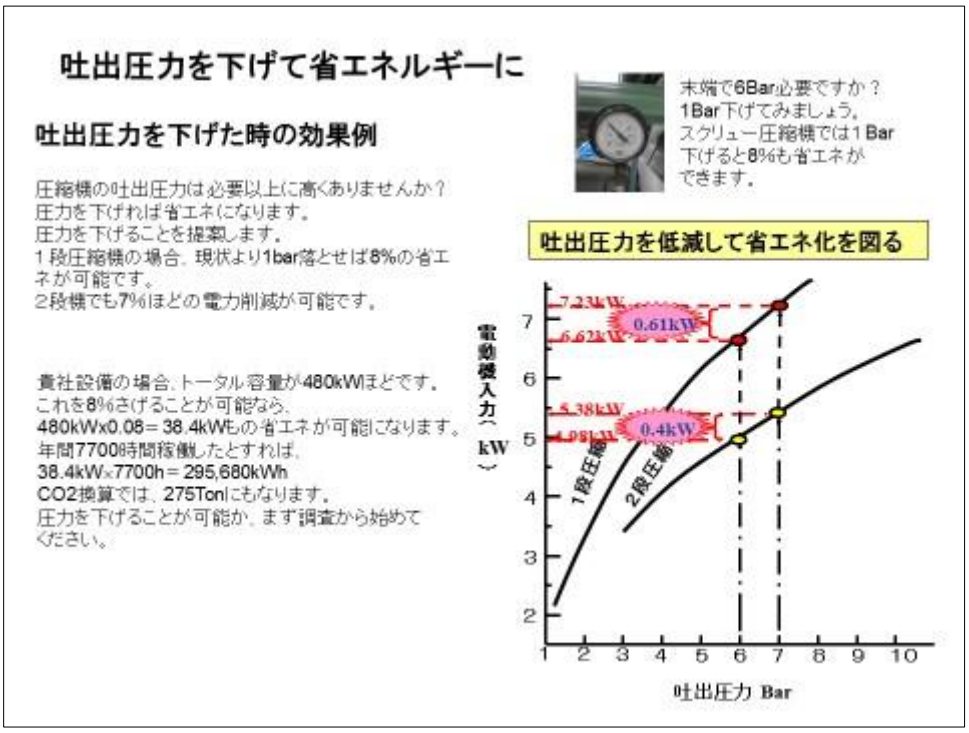


	75kW圧縮機1台	75kW圧縮機2台	150kW圧縮機1台
消費動力(入力) kW	84.0	168.0	160.0
吐出し空気量 m³/min	13.0	26.0	28.5
原単位 kW/(m³/min)	6.46	6.46	5.61

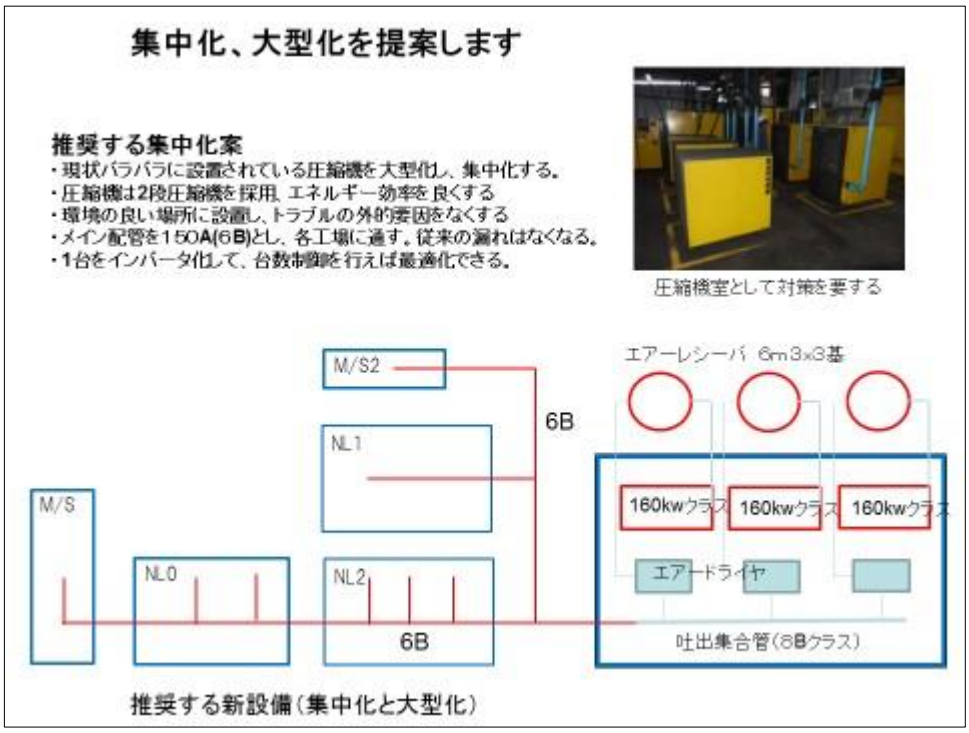
※ 原単位 ＝ 消費動力 ÷ 吐出し空気量

[ソフト面（運用改善側）]

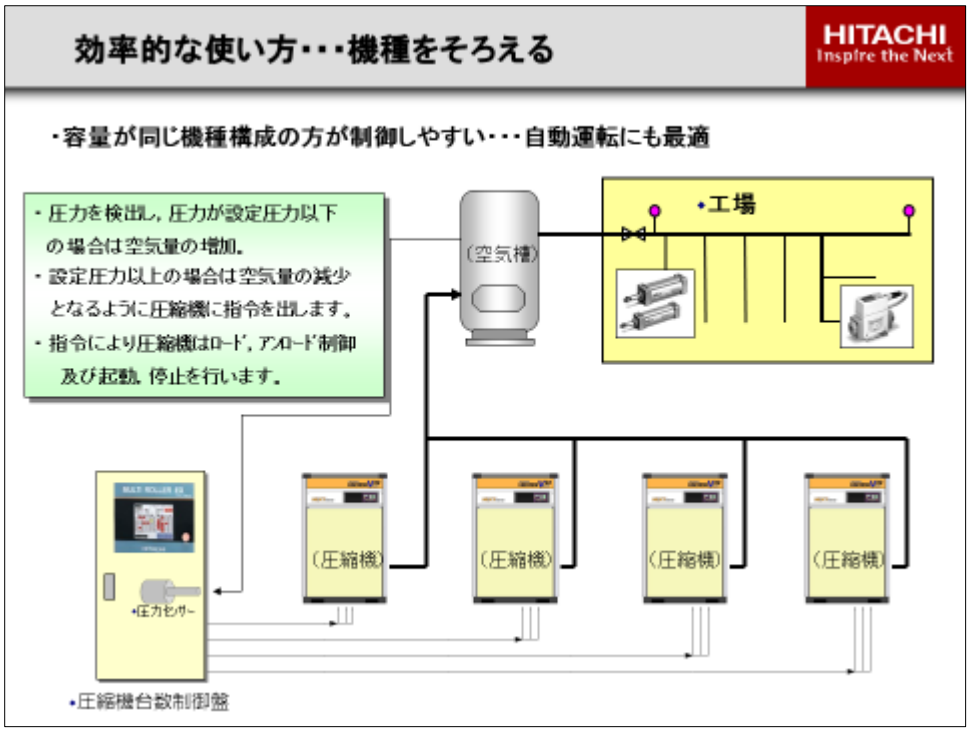
◈吐出圧力の低下



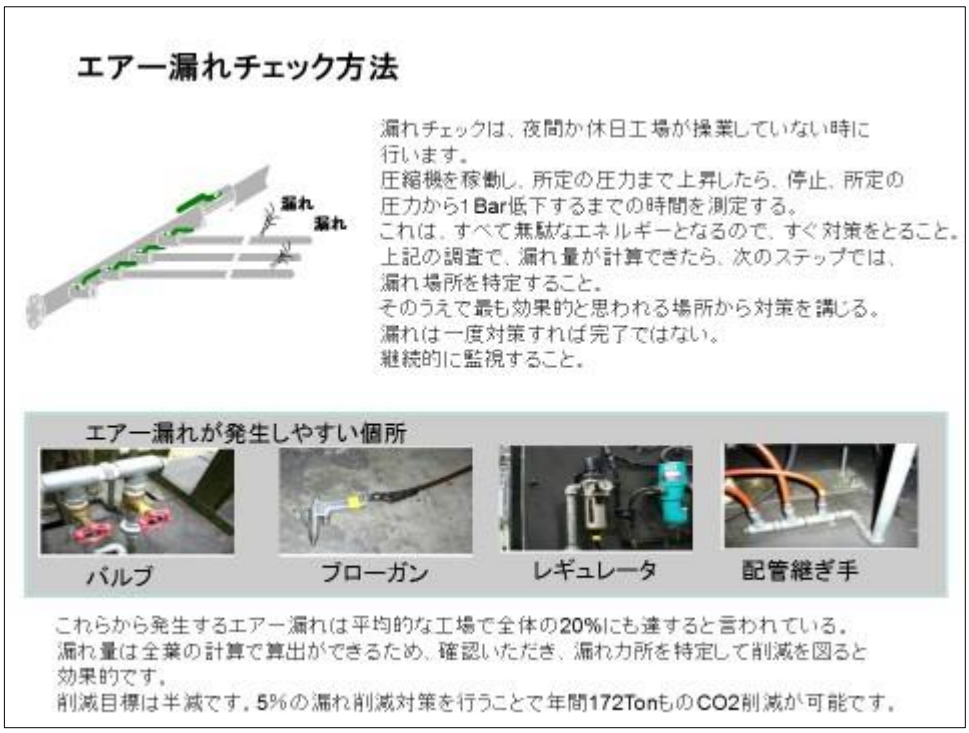
◈圧縮機の大型化・集中化



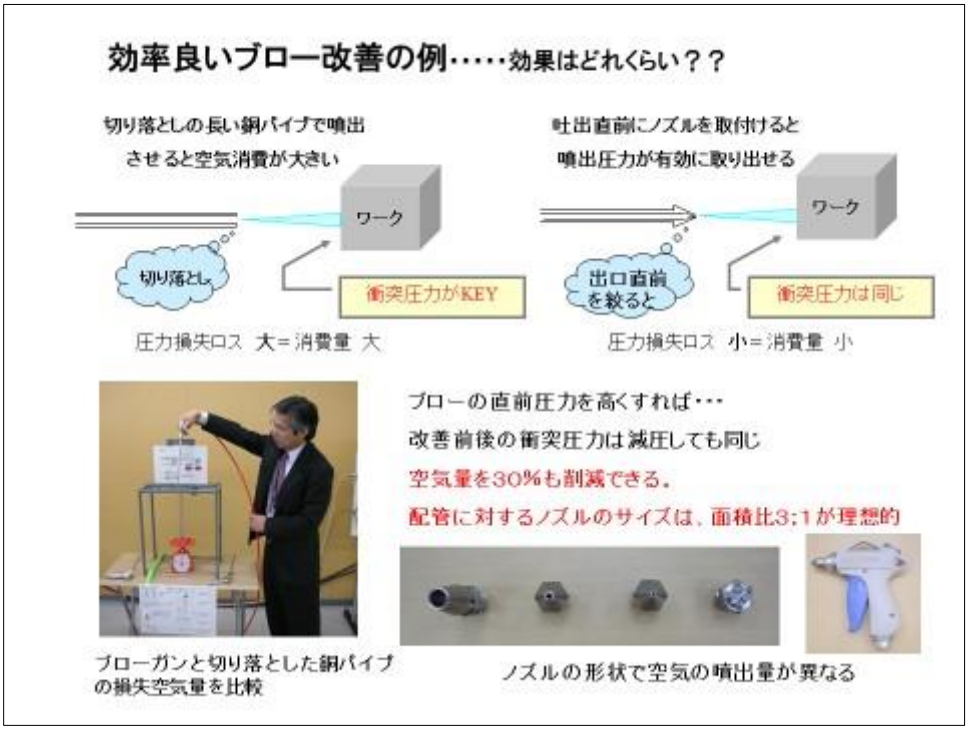
◈圧縮機の効率利用



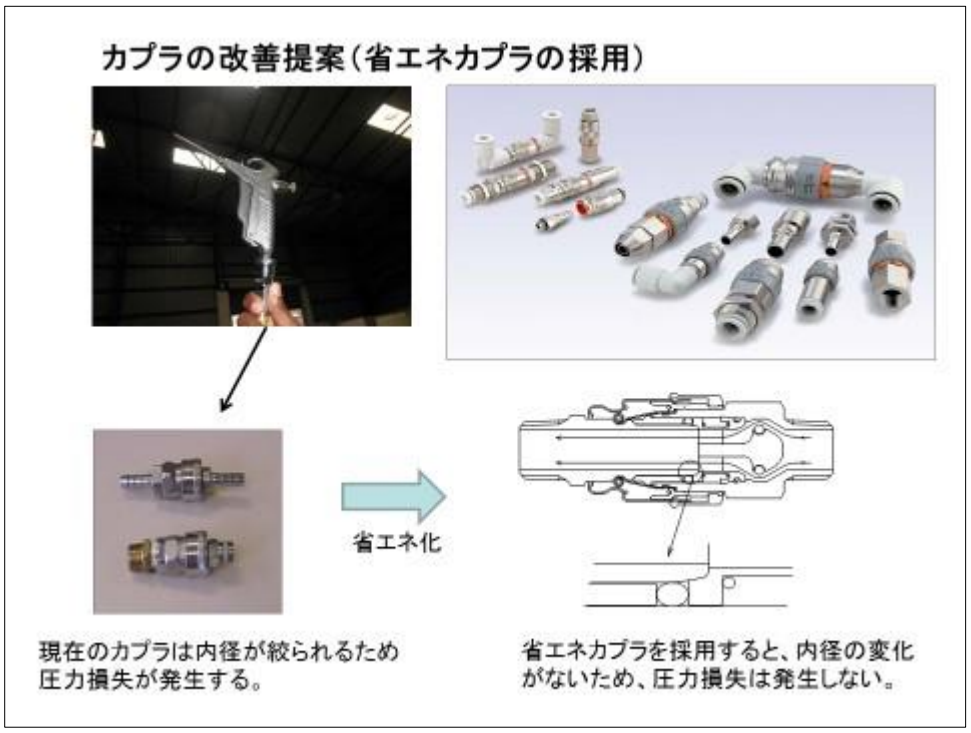
◈漏れの低減



◈ブローガンの採用



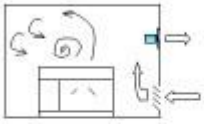
◈省エネカプラの採用

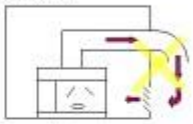


◈圧縮機室内の換気

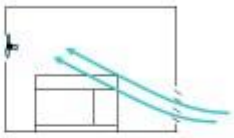
圧縮機室内の換気

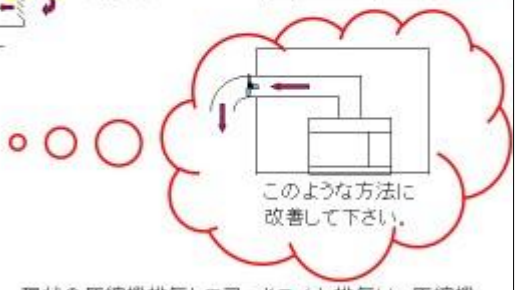
吸気口は排気口の対角面の下面が基本です。
排気面と吸気面が同一面とならないようにして下さい。
まったく、室内の換気がなされません。





スムーズなエアーの流れ
適切な冷却





エアードライヤの能力低下
これは室内換気が不十分なために
発生しています。

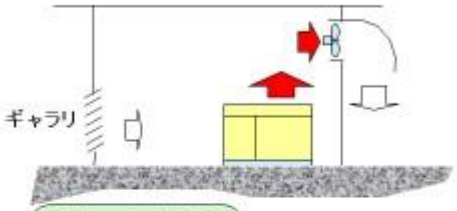
現状の圧縮機排気とエアードライヤ排気は、圧縮機室内に籠った状態で室温を上げています。
機器の性能低下にもつながります。
ダクトの施工と排気ファン取り付けをおすすめします。
10℃の温度上昇で圧縮機効率を3%低下させます。

圧縮機室内の全体換気と換気扇の容量・・・ご参考

全体換気の場合の必要換気量

$$Q = \frac{n \times H}{0.0753 \times \Delta T}$$

Q: 必要換気量 (m3/min)
H: 1台あたりの発生熱量(MJ/h)
(1kW＝3.6MJ/h)
n: 据付け台数
T: 許容温度上昇
(外気温35℃、圧縮機許容最高温度45℃とすると
ΔT＝45-35＝10℃)



貴社の必要換気量

たとえば75kWの圧縮機が稼働することを条件に、間接換気の必要空気量を計算します。

エアードライヤーの発生熱量は入力値で800Wとします。

$$Q = \frac{3.6x(75/0.9+0.8)kWx1}{0.0753x10} = 402M3/min$$

つまり、現状では100M3/minの有圧換気扇を4基設置することが望ましい状況です。

実際にはこれを施工するには無理がありますので、ダクト施工し、これを温度コントロールされるようにしてください。

ダクト施工された場合は、現状の排気ファンの容量で十分です。

◈レシーバタンクの簡易点検

◈その他（ドレン処理装置の設置）

[まとめ（CO2 削減）提案]

1.圧縮機を効率良く使う・・・下記対策を行うことにより、 **CO2 換算 275Ton 削減。**

・吐出圧力を下げる・・・6Bar から 5Bar へ下げる。

・インバータ圧縮機の有効活用・・・圧縮機設備を集約化する、分散化でも効果は大きい。現状の 20%は下げられる。

・ブースター圧縮機の採用・・・吐出圧力を下げると同じ効果が得られる。

・2 段圧縮機の採用・・・エネルギー削減 18%達成できる。
設備を 160KW クラスの２段圧縮機 3 台に一新する。3 台のうち 1 台をインバータ圧縮機とすると 400,000kWh 近いエネルギー削減ができそうである。CO2 削減効果は絶大である。

2.ムダをなくする　・漏れの低減～まず現状調査から・・・漏れ半減対策を行うこと
エアー漏れの場所を特定し、対策を行う。**5%の削減でも年間 172Ton の削減可能。**
現状設備が古いので、配管の全面改修も検討が必要

・効果的なブローガンの採用・・・エアー量を 30%削減

・省エネカプラの採用・・・圧力損失を改善

3.環境を整える・・・設置環境を変えることにより、最大 5%のエネルギー削減が可能。つまり、圧縮機の能力は環境次第で変わってしまう。

・FRESH、COLD、DRY の環境をつくる。

・ドレン処理装置の設置・・・環境保護の観点

4.配管施工のご注意点・・・トラブル防止と効果的な配管とは？

5.換気対策方法・・・トラブル防止（予防保全）は CO2 削減の基本

6.レシーバタンクの簡易点検

7.エネルギー監視・・・FEMS を応用した CO2 削減活動へ

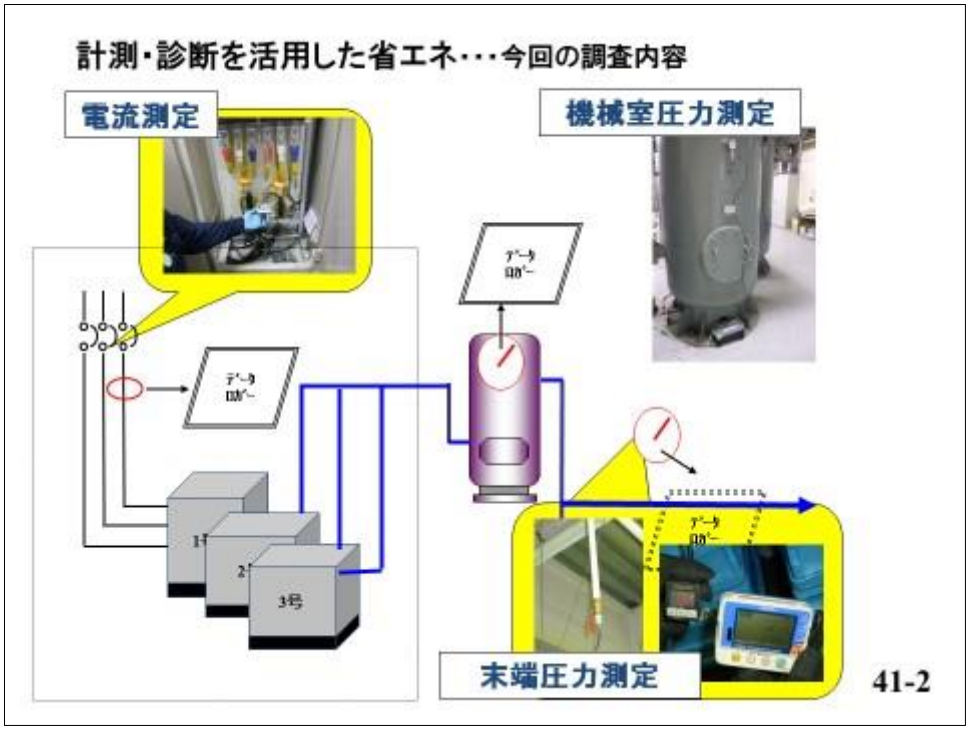
・監視システムの採用

(3)-7 その他：エネルギー監視を通じた CO2 削減への提案

工場における使用エネルギー量の継続的な改善において、エネルギー使用状態を常に監視することの必要性は既に(2)-7 で述べた通りである。これについては、上記、6 箇所全ての調査先に共通する項目として提案をしている。

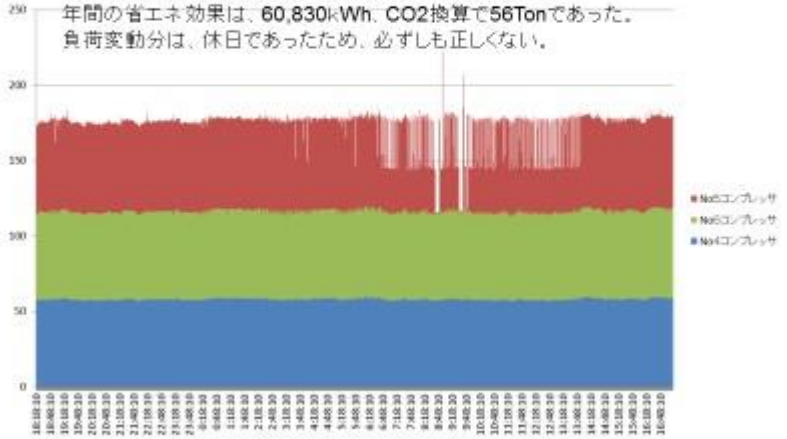
以下に計測・診断を活用した省エネ提案事例を紹介する。

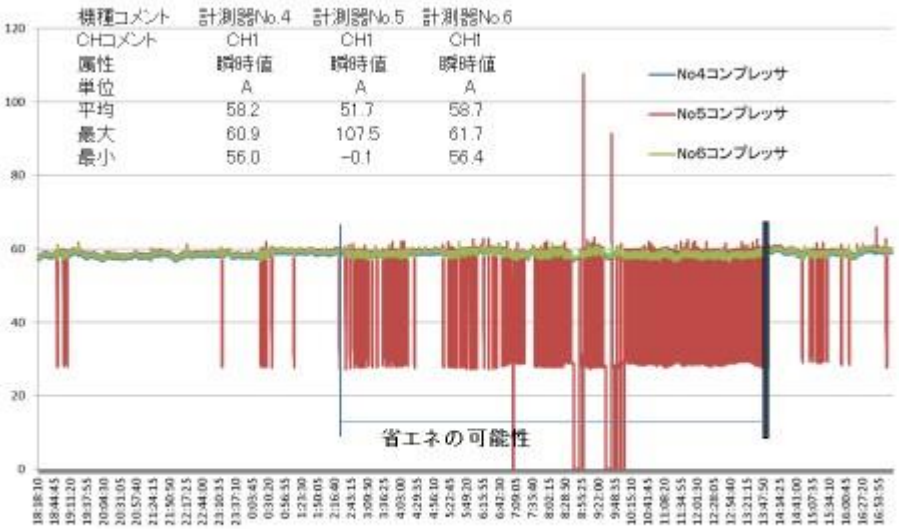
［事例①：　Bombay Dyeing Ltd.（繊維業）］

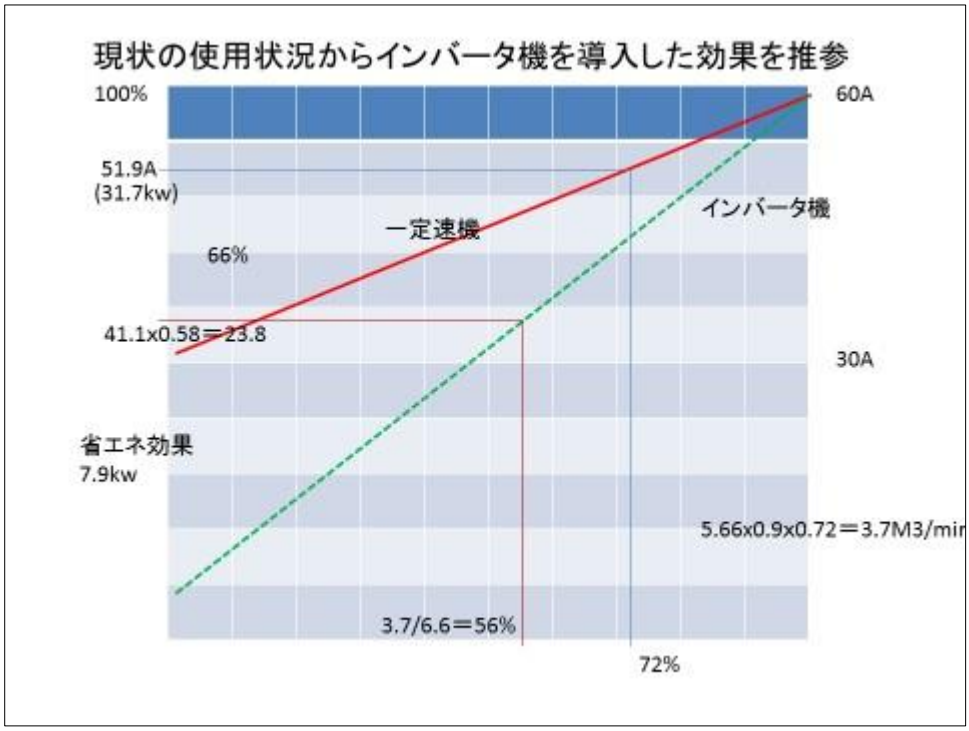


計測・診断を活用した省エネ・・・今回の調査内容

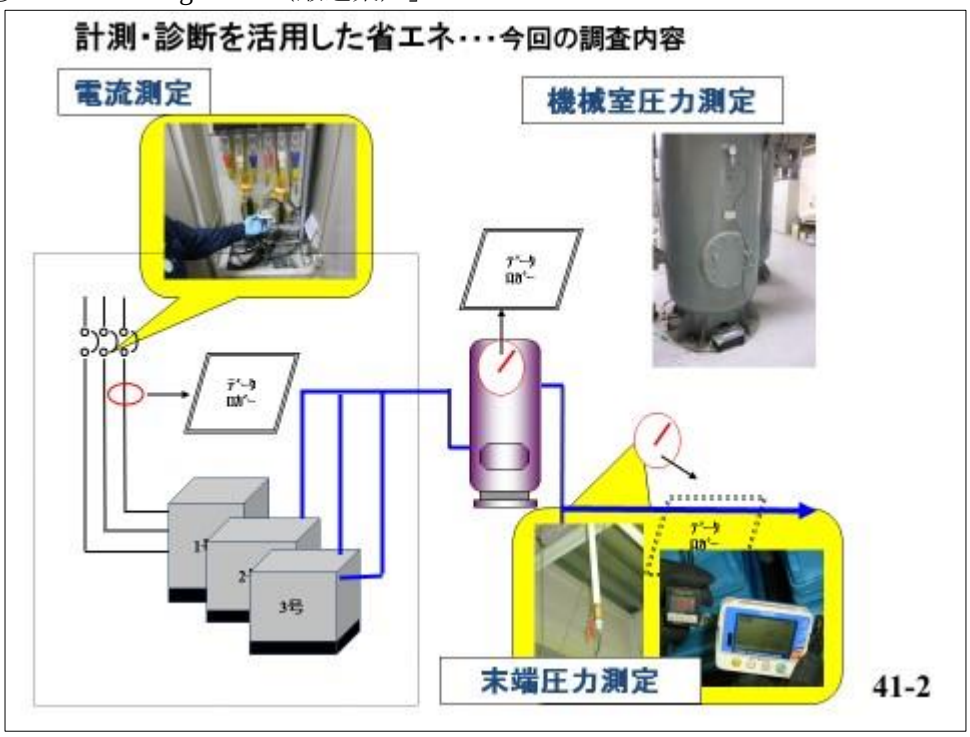
下記は3台分の電流積み上げを示す。
昨年訪問時と異なり、負荷が高くなっている。
負荷変動時間帯もはっきりしている。
インバータ機導入による効果は、計算結果7.9kWとなった。
年間の省エネ効果は、60,830kWh、CO2換算で56Tonであった。
負荷変動分は、休日であったため、必ずしも正しくない。







［事例②：　Ahmednagar Ltd.（鍛造業）］

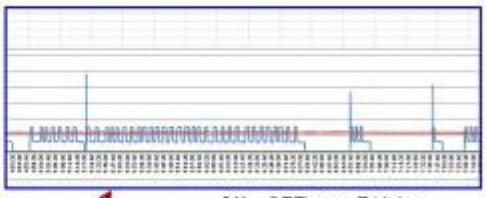


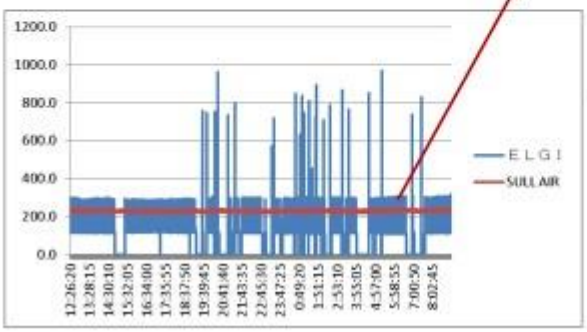
計測・診断を活用した省エネ・・・今回の調査内容

レトロフィットされた**SULLAIR LS-20S**
負荷変動に対応していない。
圧力の設定と応答性に問題がある。
計測診断では負荷率80%ほどで推移。

AHMEDNAGAR FORGINGS LIMITED殿
(ELGI電流変動)

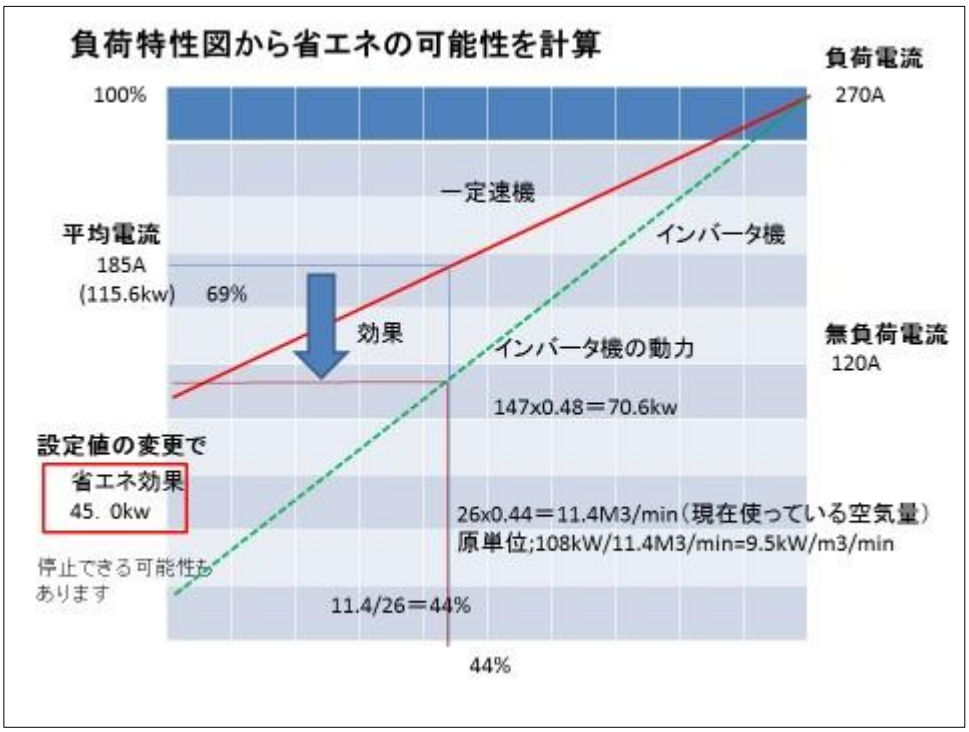
機種コメント	計測器No.1	計測器No.2
CHコメント	CH1	CH1
属性	瞬時値	瞬時値
単位	A	A
平均	185.6	229.8
最大	968.8	247.3
最小	0	217.8





ON—OFFしているだけで
負荷状態になっていない。
無駄な運転。

平均電流から消費動力を算出
・ELGI2
185.6Ax400V×1.73×0.89÷1000
＝115.6kW
・SULLAIR
229.8Ax400V×1.73×0.9÷1000
＝143.1kW



(4) ワークショップ

日時	2014 年 10 月 11 日　9:30 ~ 15:00
場所	プネ、マハラシュトラ州、インド
主催	IGES・TERI（共催）
協力	マハラシュトラエネルギー開発公社（Maharashtra Energy Development Agency: MEDA）
参加者数	55 名

2014年10月11日、IGESとTERIが合同で「Awareness Workshop Energy efficient Japanese technologies and best practices in Compressed Air System（圧縮空気システムにおける日本の高エネルギー効率技術およびベストプラクティス）」と題したワークショップをマハラシュトラ州、プネにおいて開催した。

MEDA・TERI 関係者と IGES 専門家

今年度のワークショップは、昨年度まで関西研究センターが実施してきた地球規模課題対応国際科学技術協力事業（SATREPS）「インドにおける低炭素技術の

適用促進に関する研究」プロジェクトの実績を活用し、低炭素技術と一つとして圧縮空気システムの紹介、および、その最適運用を通じた省エネに関する普及とキャパビルをおこなうことを目的として実施したが、同時に、今後の事業展開に向けた現地の地方政府や経済団体とのネットワークの構築の機会ともなった。

出席者は、プネの鋳造・鍛造業界・繊維業界のオーナーやマネジメントクラスを中心に、およそ 45 の地方政府関係者、業界、コンサルタント会社、援助機関、計 55 名だった。中にはプネ以外の都市や隣州のグジャラート州からの出席もあり、本技術へ関心の高さが伺えた。

ワークショップでは、先ず TERI の Chetankumar Sangole 氏が圧縮空気技術の日本人専門家とイベントに参加した他の機関の代表に歓迎の意を表した。さらに同氏は IGES と TERI が日本の高エネルギー効率技術をインド企業へ導入するために行っている活動の概要を説明した。

続いて、MEDA の Hemant Patil 氏が開会講演をおこなった。同氏は、日本は高エネルギー効率技術で良く知られているため、日本・インド間の協力は 双方にとって有益でなると述べた（MEDA はエネルギー監査研究支援と高エネルギー効率計画推進の金融支援を行っている）。同氏は各団体にエネルギー監査を実施し、エネルギー効率改善に向けて TERI 等の機関の支援を受けることを奨励した。

TERI の Prosanto Pal 氏からは提案されているインド・日本の「二国間クレジット制度（JCM）」の概要を説明、同制度が高エネルギー効率の日本の新技術をインドに導入する良い機会になると述べた。

IGES の Rabhi Abdessalem 氏は JICA/JST の支援の下で IGES と TERI 実施した ALCT プロジェクトに関する発表を行った。このプロジェクト計画の下でガスヒートポンプ（GHP）や電動ヒートポンプ（EHP）等のハード技術及び圧縮空気システムや誘導炉等のソフト技術についてインドの中小企業に適用した事業の紹介を行った。将来、JCM の活動スキームは、インドで日本の低炭素技術を導入する際に利用することができる。又、UNFCCC の気候技術センター・ネットワーク（CTCN）の下での支援を受けられる可能性もあることにも言及した。

日本の日立産機システム株式会社の斉藤司氏は「圧縮空気システムのベストプラクティス」に関する講演を行った。斉藤氏は多くの企業でエアコンプレッサーのエネルギー消費量は工場全体の 20-40%を占めると述べた。通常、エアコンプレッサーの使用年数期間を通して運転（エネルギー）コストは 84%で資本コストは 7%、整備コストは 9%である。斉藤氏はエアコンプレッサー自体の最適化を行う前に、可能な限り圧縮空気の消費削減と圧縮空気生成圧力を低減する必要があることを強調した。同氏はエアコンプレッサーの効率的運転に重要なものとして各種のポイントに焦点を当てた。パイプサイズの変更、アンロード時間の短縮、使用バルブ数の削減、空気取入れ部のエポキシ塗装、ドレン弁の取り付け、フィルタやエアドライヤーのサイズ適正化、閉ループ系、2 段圧縮機の採用、インバータ式圧縮機の活用、空気取入れ部のサイズ適正化、排気管使用、ノズルや類似部品の使用、等である。

特に、インドでの実施可能性調査の経験を踏まえた具体的な運用事例を交えた講演に出席者も高い関心を示し、講演終了後も専門家に質問にくる出席者が多く見受けられた。また、出席した企業からの当該技術導入への積極性もみられ、今後も日本の圧縮空気システム技術の普及と継続の重要性を再確認した。

また、今回のワークショップの開催に際しては、マハラシュトラエネルギー開発公社（MEDA）の協力を得ることができた。このように地方政府機関や経済団体等とのネットワークの構築が進んできたことは、今後の事業の展開を検討する上で、大変有益なことであった。

ワークショップのアジェンダ、参加者リスト、ならびに発表資料は次の通り。

［アジェンダ］

Awareness Workshop
Energy efficient Japanese technologies and best practices in Compressed Air System

Venue:
Courtyard Marriott, Pune

Date:
October 11, 2014 (Duration: 9:30 am – 3:00 pm)

Tentative Agenda

09:30 – 10:30 am	**Registration & Tea**	
10:30 – 10:45 am	**Welcome Address**	**Mr. Chetankumar Sangole,** The Energy and Resources Institute (TERI), India
10:45 – 11:15 am	**Overview of TERI-IGES Project**	**Mr. Prosanto Pal,** The Energy and Resources Institute (TERI), India **Dr Abdessalem RABHI,** Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japan
11:15 – 11:25 am	**Inaugural Remarks**	**Mr. Hemant H Patil,** Manager, Environmental & Energy Efficiency, Maharashtra Energy Development Agency (MEDA), India
11:25 – 13:00 pm	**'Energy efficiency in Compressed Air System' – Japanese Experience**	**Mr. Tsukasa SAITO,** Senior Engineer, Air Compressor System Division, Hitachi Industrial Equipment System Co. Ltd, Japan
13:00 – 13:25 pm	**Discussion/Q & A**	
13:25 – 13:30 pm	**Vote of Thanks**	**Mr. Kailash Tarde,** The Energy and Resources Institute (TERI), India
13:30 pm	**Lunch**	

［参加者リスト］

Awareness Workshop
Energy efficient Japanese technologies and best in Compressed Air System

Hotel Courtyard Marriott, Pune
11th October 2014, 9:30 am – 3:00 pm

S. No.	*Name*	*Organization*
1.	Mr Ramesh Shinde	Bombay Dyeing, Pune
2.	MrSameer D Boid	Benteler Automotive, Pune
3.	Mr Vivek Gore	Burckhardt Compression, Pune
4.	Mr Atul S Kakad	Mandhana Industries Ltd, Mumbai
5.	Mr Subhash S Yewale	Bharat Forge Ltd, Pune
6.	Mr M M Deepan	Kumars Autotech (Pune) Pvt Ltd, Pune
7.	Mr Adinath Funde	University of Pune
8.	Mr Deepak Dhami	Ranvik Auto, Pune
9.	Mr Mukesh F Chavan	Echjay Industries Pvt Ltd, Rajkot
10.	Mr N M Bhairagond	Hightemp Furnaces Ltd, Pune
11.	Mr S N Bansode	Indoswe Engineers Pvt Ltd, Pune
12.	Mr D T Patil	Indoswe Engineers Pvt Ltd, Pune
13.	Mr Jitendra Lakhotia	Aakar Foundry Pvt Ltd, Pune
14.	Mr Sunilkumar Nair	Aakar Foundry Pvt Ltd, Pune
15.	Mr S R Rane	Mahindra Hinoday Industries Ltd, Pune
16.	Mr Sanjay S Bhandari	Aum Prasad Casting (P) Ltd, Pune
17.	Mr Shalak Gandhi	MCCIA (Deputy DG), Pune

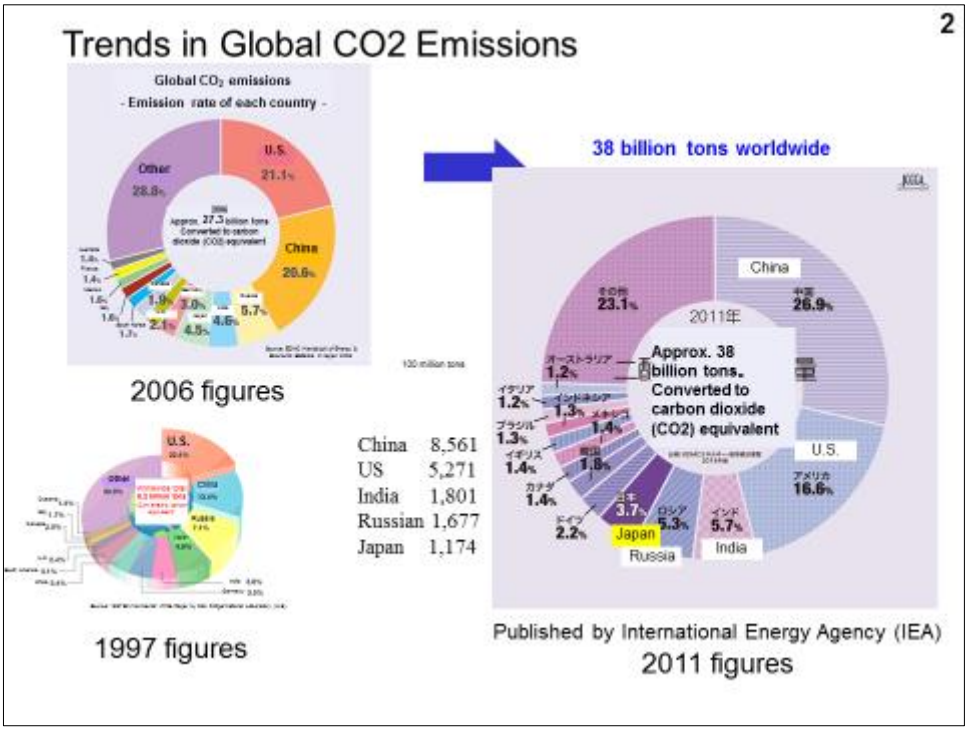
1

S. No.	Name	Organization
18.	Mr Sham Jadhav	Mas Die Casting, Pune
19.	Mr Kisan Sagaokar	Mas Die Casting, Pune
20.	Mr Raju Nagabandi	Subros Ltd., Pune
21.	Mr Shantanu Pathak	ENCON Pvt Ltd, Pune
22.	Mr Nilesh Zaware	ENCON Pvt Ltd, Pune
23.	Mr Kadam K G	Western India Forgings, Pune
24.	Mr S P Ranade	S P Ranade Associates, Pune
25.	Mr Swapnil Gaikwad	Green Flame Pvt Ltd, Pune
26.	Mr Kalim Khan	Raymond UCO Denim Pvt Ltd, Yavatmal
27.	Mr Yogesh Bondre	Raymond UCO Denim Pvt Ltd, Yavatmal
28.	Mr Kushal Trivedi	Arvind Ltd, Ahmedabad
29.	Mr Ratnakar Chaudhari	Poona Forge, Pune
30.	Mr Abhijeet R Chavan	Kalyani Forge Ltd, Pune
31.	Mr Shashi Kant	The Word Bookshop, Pune
32.	Mr Ashpak Shaikh	The Word Bookshop, Pune
33.	Mr VishweshKhadilkar	Bombay Dyeing, Pune
34.	Mr Sumant Naik	Amtek, Pune
35.	Mr Arif S Shaikh	Hightemp Furnaces Ltd, Pune
36.	Mr PrasunPandy	Shakti Sustainable Energy Foundation, Delhi
37.	Mr Umakant Pande	MEDA, Pune
38.	Mr Inderjitsingh Rana	Orient Auto Pressings, Pune
39.	Mr Sunil Checker	ACE Engineers

S. No.	Name	Organization
40.	Mr S A Patil	MEDA, Pune
41.	Mr Anil Javalkar	PFPL, Pune
42.	Mr Shivaji B Patil	ITPL-Vesan Engg, Pune
43.	Mr I M Sayad	ITPL-Vesan Engg, Pune
44.	Prafull Mokashi	Ex-AIFI secretary
45.	Chetan kumar Sangole	TERI
46.	Prosanto Pal	TERI
47.	Vivek Sharma	TERI
48.	KailashTarde	TERI
49.	Nilesh Shedge	TERI
50.	AshishSakhare	TERI
51.	HemantPatil	MEDA
52.	Dr.AbdessalemRabhi	IGES
53.	TsukasaSaito	Hitachi-IGES
54.	Akio Yoshizaki	Hitachi-IGES
55.	Meghna Joglekar	Kakehashi Services Pvt Ltd

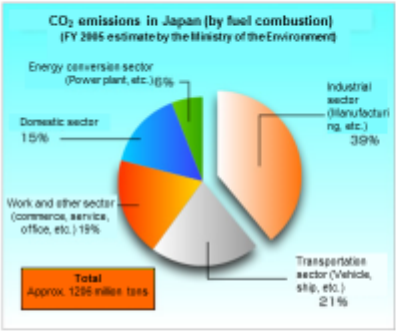
［発表資料（原本英文)］

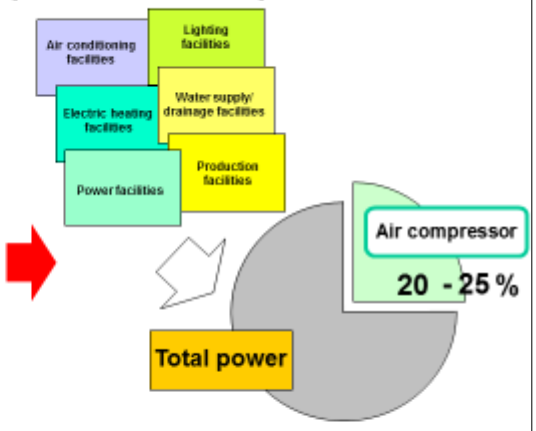
1
2014 VERSION
Energy Saving and Environmentally Friendliness of Air Compressors
Hitachi Industrial Equipment Systems Co., Ltd.


2
Trends in Global CO2 Emissions
Global CO2 emissions
- Emission rate of each country -
U.S.
21.1%
Other
28.8%
China
20.6%
2006 figures
38 billion tons worldwide
China
26.9%
2011年
23.1%
Approx. 38 billion tons. Converted to carbon dioxide (CO2) equivalent
U.S.
16.6%
Japan
Russia
India
China 8,561
US 5,271
India 1,801
Russian 1,677
Japan 1,174
1997 figures
Published by International Energy Agency (IEA)
2011 figures

3

Energy Consumption in Japan



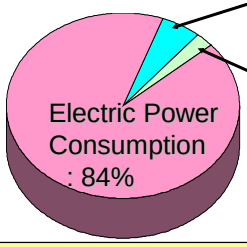


Energy consumed for the industrial sector (factories) accounts for approximately 40% of the total energy consumption in Japan.
It is considered that approximately a quarter of that amount is used by compressors.
In addition, compressors are regarded as machines whose energy consumption can be reduced relatively easily. As a result, energy saving through rotation control and multiple unit control is strongly requested by the Ministry of Economy, Trade and Industry as well.
Therefore energy saving for compressors needs to be addressed urgently.

4

Let's check out energy cost -LCC and Specific Power Consumption

Most of compressor LCC is power consumption.



Maintenance: 9%
Carry out periodical maintenance.

Initial: 7%
(compressor, installation/starting, piping, etc.)
Select better efficiency, better control.

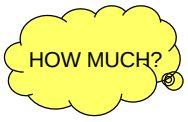
Note: LCC = Life Cycle Cost

<Example>
Oil flooded 75kW class rotary screw (Hitachi)
6000hr/y operation ¥17/kWh
100%Load example
Total cost: 12 years average

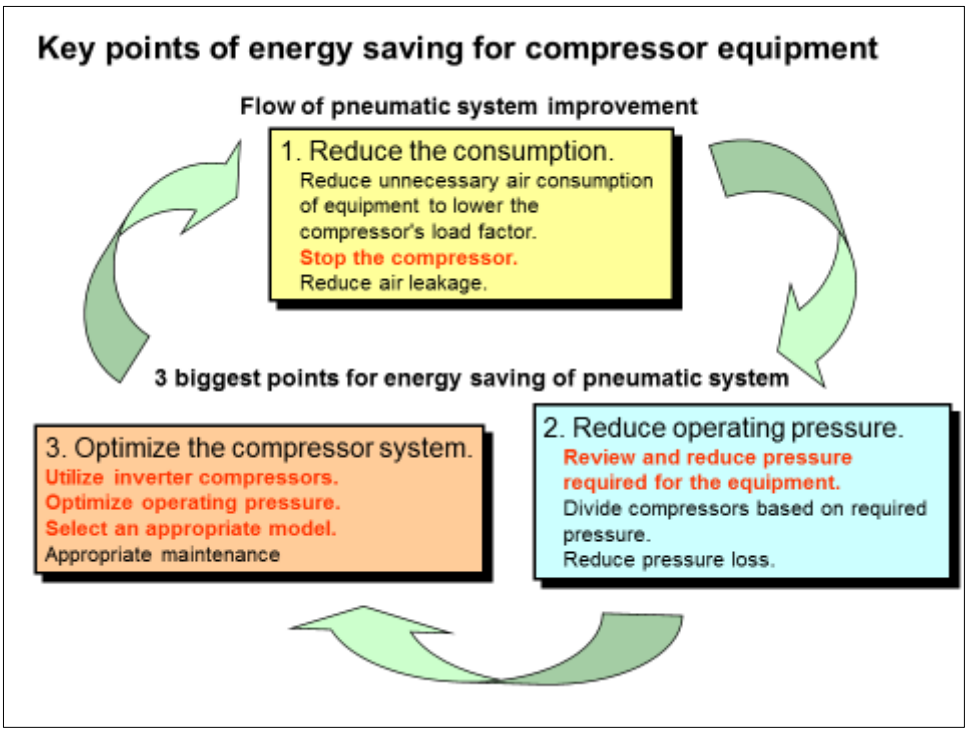
If average air consumption decreased by 70%, electricity cost decreased by 70%.

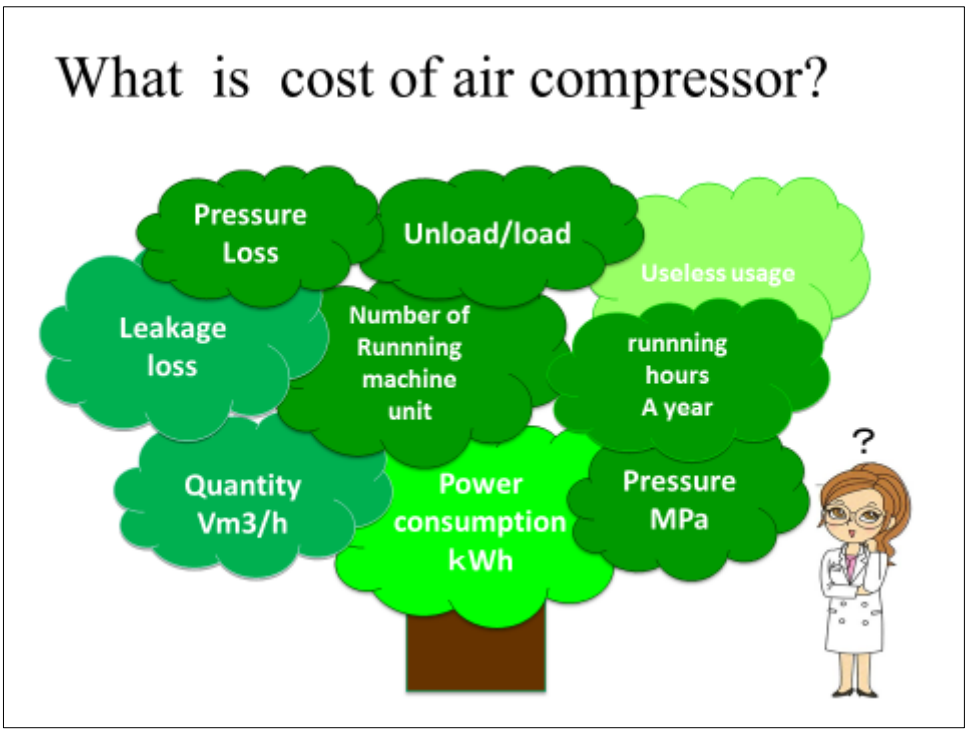
Specific Energy Consumption

How much to for 1㎥ of compressed air? --- Example of quick calculation



$$\text{Energy cost } (¥/m^3) = \frac{\text{Power input (kWh)} \times \text{Electricity cost (¥/kWh)}}{\text{FAD } (m^3/\text{min}) \times 60 \text{ (min)}}$$


Key points of energy saving for compressor equipment
Flow of pneumatic system improvement
1. Reduce the consumption.
Reduce unnecessary air consumption of equipment to lower the compressor's load factor.
Stop the compressor.
Reduce air leakage.
3 biggest points for energy saving of pneumatic system
3. Optimize the compressor system.
Utilize inverter compressors.
Optimize operating pressure.
Select an appropriate model.
Appropriate maintenance
2. Reduce operating pressure.
Review and reduce pressure required for the equipment.
Divide compressors based on required pressure.
Reduce pressure loss.


What is cost of air compressor?
Pressure Loss
Unload/load
Useless usage
Leakage loss
Number of Runnning machine unit
runnning hours A year
Quantity Vm3/h
Power consumption kWh
Pressure MPa
?

CO2 reduction=energy saving of the air system

Saving energy of compressed air system=Energy cost down

Energy cost (L kW)= pressure (P) x air consumption(V)

The policy for cost cuts useless

- Lower useless pressure (P)
- Reducing volume air consumption (V)
- Improvement (pressure loss, leak) of the loss

The point of the energy saving is to get rid of waste how, and to perform the following

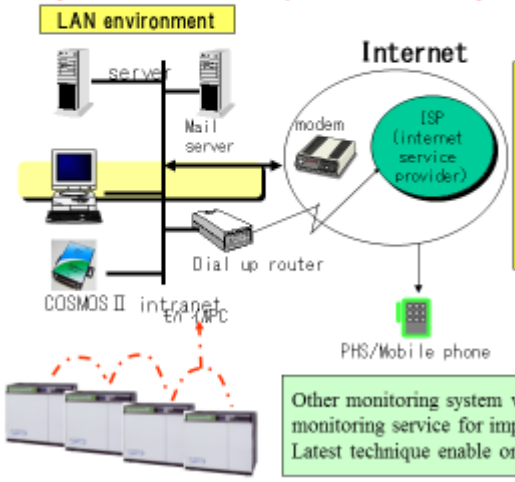
1. Making better capacity control (use the efficient machine)
2. Make efficient use of equipment
3. Appropriate pipe diameter and length=down compressed air speed
4. Counter measurement of leak

7

8

Remote Monitoring System (COSMOS Ⅱ)

Easy monitoring on PC utilizing LAN (Local Area Network).
Easy communication with Service department.
Social needs for the remote monitoring is increasing together with Electric power monitoring.



COSMOS Ⅱ has mail-send function for Warning/shutdown.
(NOTE: for this function, it is Necessary to install mail server or open an account of IPS (internet service provider).

Other monitoring system with WEB controller remote monitoring service for important equipment is also available.
Latest technique enable on-time insulation monitoring as well.

HITACHI
Inspire the Next

In this practice, we verify the importance of proper pressures design at positions in air supply lines.

1. **Piping system**
   How pressure loss changes if size changed?
   How pressure loss changes if valve structure differs?

2. **Air compressor**
   How input power changes if compressor is driven by Inverter?
   How pressure fluctuation changes if air tank is installed.

3. **Local pressurization**
   What is "booster babicon"?

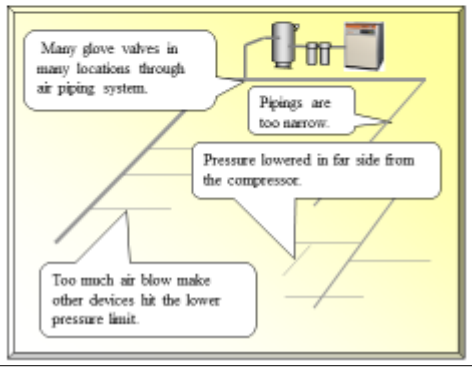
HITACHI
Inspire the Next

1. Pressure optimization by piping system redesign.

What is efficient way for local low pressure demand.
Do you have similar cases like this in your factory?

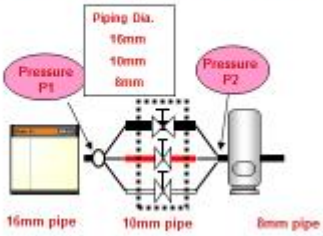
1. **Unstabilized factory air.**
   [status] pressure far side from compressor unstable.
   Pressure down when other system ON.
2. **Due to budget allowance, no uniformity on air system such as devices, pipings (size, route, valves).**

What kind of improvement in this case?

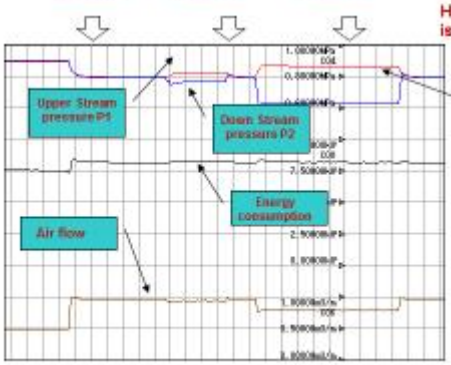


How loop piping, size, bend and valves effect proper pressure in system?

Discharge pipe diameter and pressure loss



How much difference if piping diameter is changed?

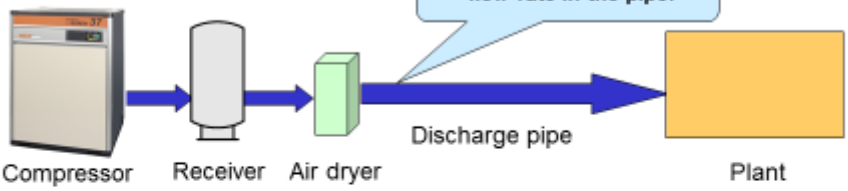


In case piping diameter is 8mm, upper stream pressure is increased because pressure loss is big.
As a result, air compressor commands unload operation.
Therefore, bottom stream pressure is much decreased.

Pressure Loss through Pipe and Internal Flow Rate

General flow of compressed air

The question is the flow rate in the pipe.



$$\text{Flow rate in the pipe. V (m/s)} = \frac{\text{Qs Compressor's discharge air volume} \times \text{Ps/Pd}}{\text{A Sectional area of discharge pipe} \times 60}$$

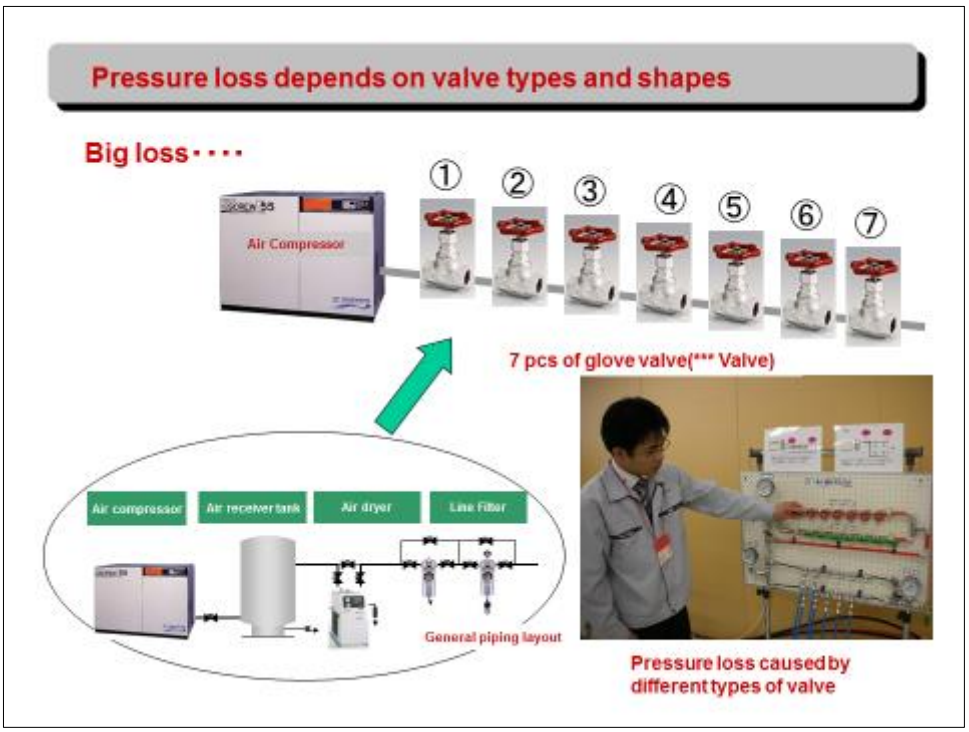
The flow rate in the pipe is desirably 4 to 5 m/s. - Economic speed

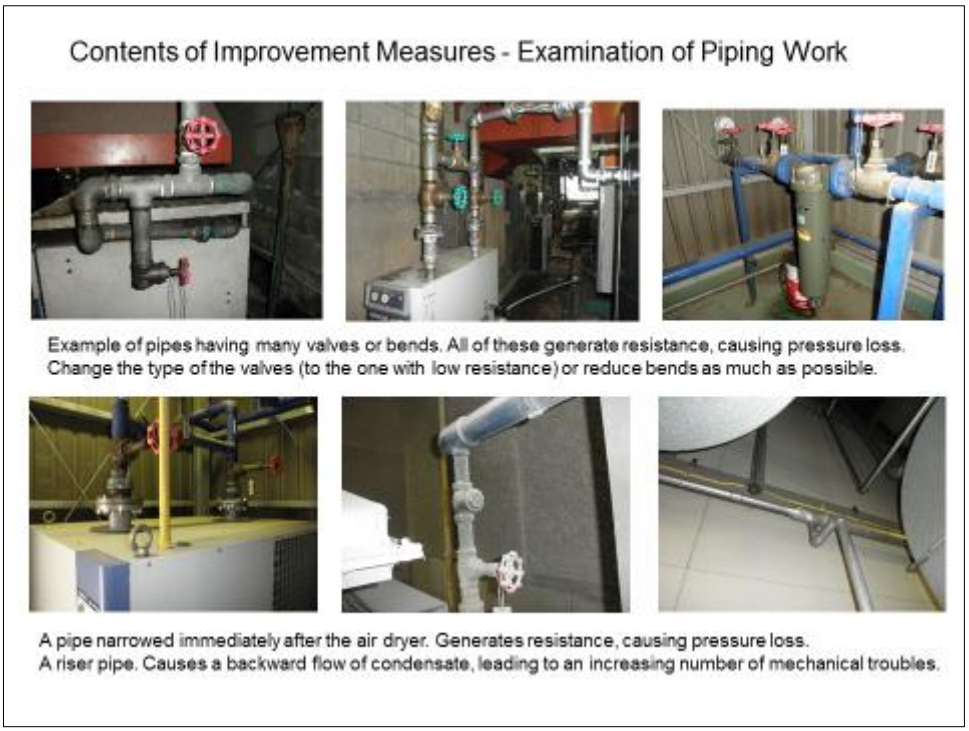
The smaller the pipe size, the higher the flow rate, causing a larger loss in the pipe. Accordingly an energy loss is generated, reducing the energy-saving effect.

* Example of 75-kW HISCREW NEXT (Discharge pressure: 0.69 MPa, discharge air volume: 13.2 M3/min), size of discharge air pipe: 50mm

V = 13.2 x 0.101 / (0.101 + 0.69) ÷ 0.05 ÷ 0.05 ÷ 3.14 / 4 ÷ 60

= 14.31 m/sec (This is a very high speed.) The energy-saving effect is low.


Pressure loss depends on valve types and shapes
Big loss····
Air Compressor
①
②
③
④
⑤
⑥
⑦
7 pcs of glove valve(*** Valve)
Air compressor
Air receiver tank
Air dryer
Line Filter
General piping layout
Pressure loss caused by different types of valve


Contents of Improvement Measures - Examination of Piping Work
Example of pipes having many valves or bends. All of these generate resistance, causing pressure loss.
Change the type of the valves (to the one with low resistance) or reduce bends as much as possible.
A pipe narrowed immediately after the air dryer. Generates resistance, causing pressure loss.
A riser pipe. Causes a backward flow of condensate, leading to an increasing number of mechanical troubles.

Examples of problematic piping

Drain trap attached just behind the compressor.
Clogging of the pipe may be caused.
Also, it increases the resistance at the immediate back of the compressor, which not only causes energy loss but also makes control difficult.

Rust of receiver tank and internal corrosion may be caused.
Internal resistance increases.
It is recommended that a receiver tank with internal treatment with epoxy or similar be selected.

Rubber hose connected from the compressor to the discharge pipe.
It causes a large internal resistance and is inappropriate in terms of energy saving.
Rubber hoses generate resistance higher by 20% or more than steel pipes and are not inappropriate.

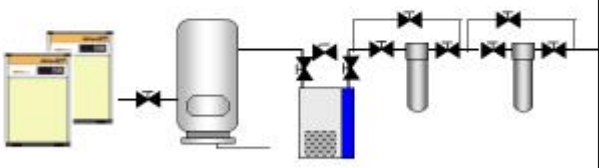
Examples of recommended piping

Provide a drain plug for a riser pipe.

Recommended collecting pipe

Riser pipe installed from above

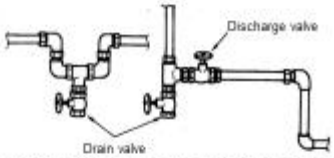
Large-bore pipe and receiver tank with adequate capacity

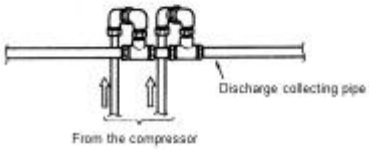


Recommended equipment and pipe flow

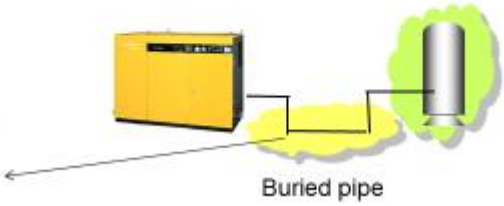
Notes for Piping Work

1. Be sure to provide a drain connection for a riser pipe. Installation to a collecting pipe must be made from above to prevent backflow. (Similarly, branch pipes must be installed from above.)
2. For a collecting pipe, give an inclination (1/100) from the upstream to the downstream. Attach a drain plug at the end of each pipe.





3. Buried piping makes it difficult not only to detect air leakage but also to repair. Therefore above-ground piping must be adopted. If buried piping is inevitable, install the pipes in a pit.



Reduce internal pipe resistance for energy saving

Example of piping improvement

Review this piping !! Easy for energy saving!!

Narrow piping
Complicated piping
Many partition piping

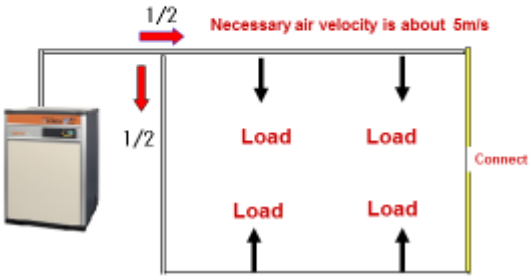
Energy saving effect 11%

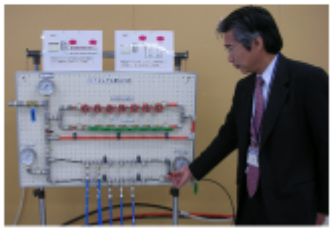
405,000kwh => 360,450kwh (improvement)

OSP-75D5ALI

Piping diameter 2B => 3B
Size up capacity for air dryer
Size up for air filter
Replacement, construction fee: 3,000k¥
Investment recovered : 4.5year
Pressure loss:
0.2MPa => 0.5MPa (improvement)

Changing air velocity through internal pipe ··· loop piping





Pressure loss is two times higher of air velocity in proportion

Pressure loss is minimized to one quarter, only to make loop piping!

How much improvement can be made with loop piping?

Pressure loss become one quarter, only to make loop piping if there is imbalance among load.

Improvement with air compressor and air receiver tank

Ideal and effective operation by variable speed control compressor with air receiver tank

Do you have any familiar situation like below?

There are many possibilities to reduce extra power by changing into air compressor's control operation with air receiver tank.

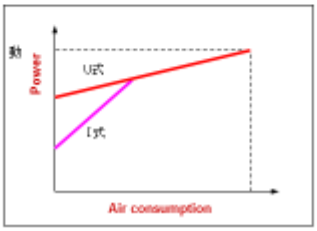
1.Air compressor's control commands unload operation frequently.

2.There are big gap of air consumption in specific period, and facilities run all day.

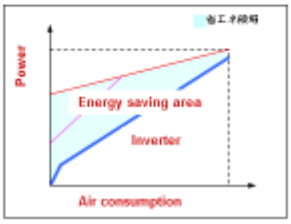
3.Air pressure is fluctuating frequently even if small amount of air is used. (unstable)

Improve on air compressor with variable speed control operation (inverter).

Unnecessary power is consumed when low load operation, if conventional type capacity control (U type) and integral operation (I type). Easy to reduce unnecessary power, only to adopt inverter control.



Apply to variable speed control (inverter)



Example of energy saving for inverter compressor

■ Application procedure

Carry out energy consumption analysis for air compressor (37kW conventional model x 1 unit evaluation)

Analysis result

- Average load ratio: 52%
- Power consumption 23,600kwh/m

Details of improvement

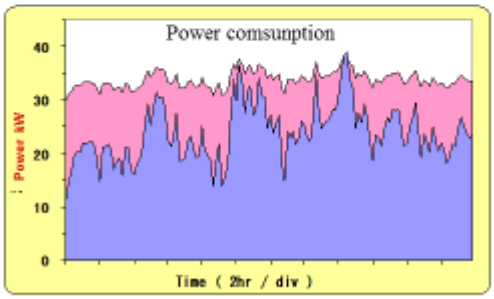
- 37kwh inverter compressor x 1 unit
- Power saving : 34%

■ Investment and effectiveness

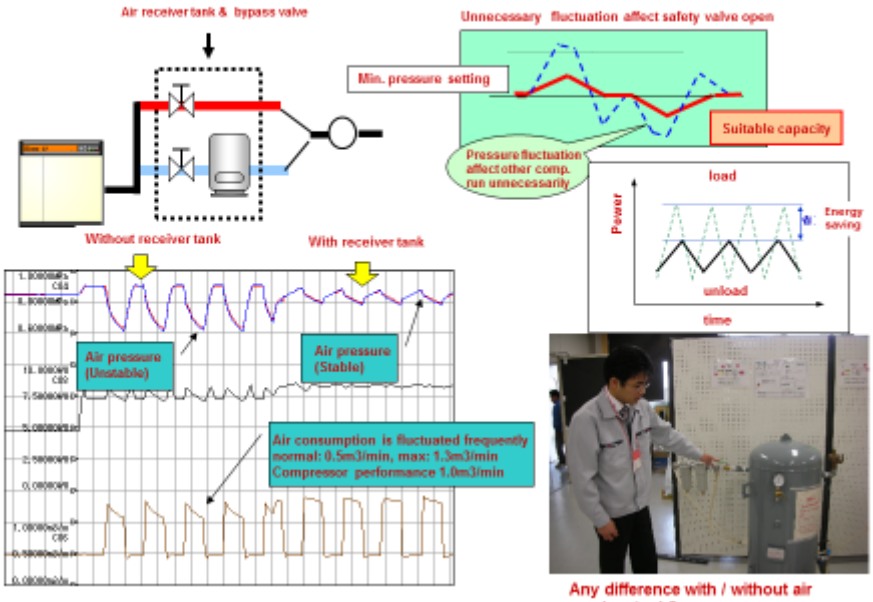
- Apply to new 37kw Inverter compressor
- Efficiency of energy saving 110MW/Y

■ Other effectiveness

- CO2 reduction (▲34%) for environment protection
- Peoridical overhaul and parts durability last long (per 8 years)
- Maintenance cost is reduced 30% (our company calculation)



Effect of receiver tank if pressure fluctuation is frequently

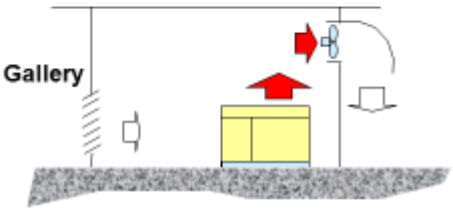


Any difference with / without air receiver tank?

Ventilation and Ventilating Fan Capacity

Required ventilation amount for general ventilation

$$Q = \frac{n \times H}{0.0753 \times \Delta T}$$



Q: **Required ventilation amount** (m^3/min)
H: **Amount of heat produced per unit** (MJ/h)
(1 kW = 3.6 MJ/h)
n: **Number of units installed**
T: **Allowable temperature increase**

(When outside temperature is 35 °C, compressor's allowable maximum temperature is 40 °C, ΔT = 40 - 35 = 5 °C)

Notes

Air intake into the compressor room. (Pay attention to the gallery design - effective area.)
- Install the compressor in the direction so that a hermetically-closed room or intake of contaminated air (oil, gas, etc.) is avoided.
- Prevent the air discharged from the compressor room from being sent back into the room and circulating.

Discharge air in compressor room
- Install the fan high on the wall of the compressor room.
- When using a rain hood, take resistance into consideration when selecting a ventilating fan.

Notes for Duct Installation Work

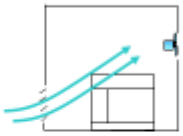
Basically, provide a suction port low on the wall on the opposite side of the discharge port.

Be careful that the discharge port and suction port are placed on the same side.

In such a case, the room will not be ventilated at all.

Temperature increase trouble due to shortcut

Smooth air flow
Appropriate cooling

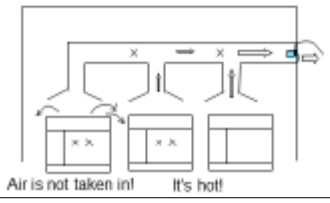


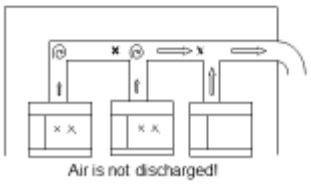
Be sure to provide a separate discharge duct for each compressor. Do not share a discharge duct for 2 or 3 compressors.

Air will not be discharged properly, leading to a failure.

The same rule applies when air is discharged through a duct using a blower or ventilator.

Even with forced exhaust, if ducts are combined into a single duct, balance will not be maintained. Overflowing discharge air may be taken into the neighbor machine.





HITACHI
Inspire the Next

3. Improvement local pressurizing

What is efficient way to pressurize higher locally within the air supply system.
Do you have similar cases in below?

1. **Many pressure intensifier installed.**
   [because:]
   - There are quite a lot of equipment requiring high pressure.
   - Capacity utilization raises in certain hours, causing pressure down.
2. **Keep high pressure in whole system just because only a part of piping needs higher pressure.**

HITACHI
Inspire the Next

Characteristics of pressure intensifier

[Advantage]
- Installation is easier for local pressure raising.
- No need for electricity.

[Disadvantage]
- About half amount of air is wasted to atmosphere.
  (the wasted air was originally compressed by using electricity.)
- Shorter overhauling. (in general, 1 Milion cycles).
  In certain case, only 3000 hr may be maintenance cycle.

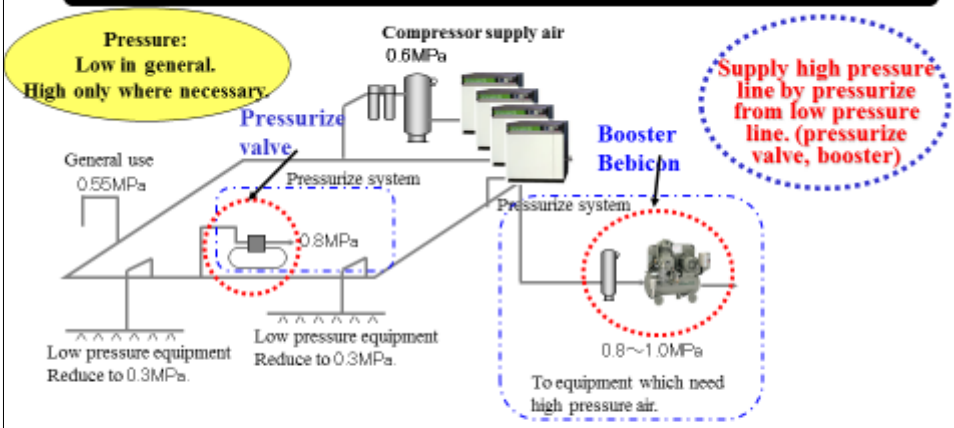
If you replace the intensifier with Booster Babicon, you will have the following advantage

1. Reduce air consumption.
   - Booster babicon in-take compressed air and pressurize efficiently.
2. Long maintenance cycle
   - 6000 Hr is overhauling maintenance period, which is quite long!

Let's feel it! How small the required air if the pressure intensifier is replaced with booster babicon.

28

Effective Usage — local high pressurize



All the equipment in a factory are running not at the same pressure.
It is effective for energy saving to install pressure reduction system for low pressure line and high pressurize system for high pressure line.
For local high pressurization, pressurize valve, booster is good, especially, booster bebicon works as multi-compression causing more energy saving.

HITACHI
Inspire the Next

Effective utilization・・・Energy saving between pressurize valve and booster bebicon

In order to make intensive pressure, there are two methods of compression :
Pressurize valve and Booster compression

Pressurize Valve

How much is the air capacity and the air consumption when pressurize valve are used?

Booster Compressor

What kind of advantage the booster bebicon has?

Calculation・・・Which is one is better for energy saving?

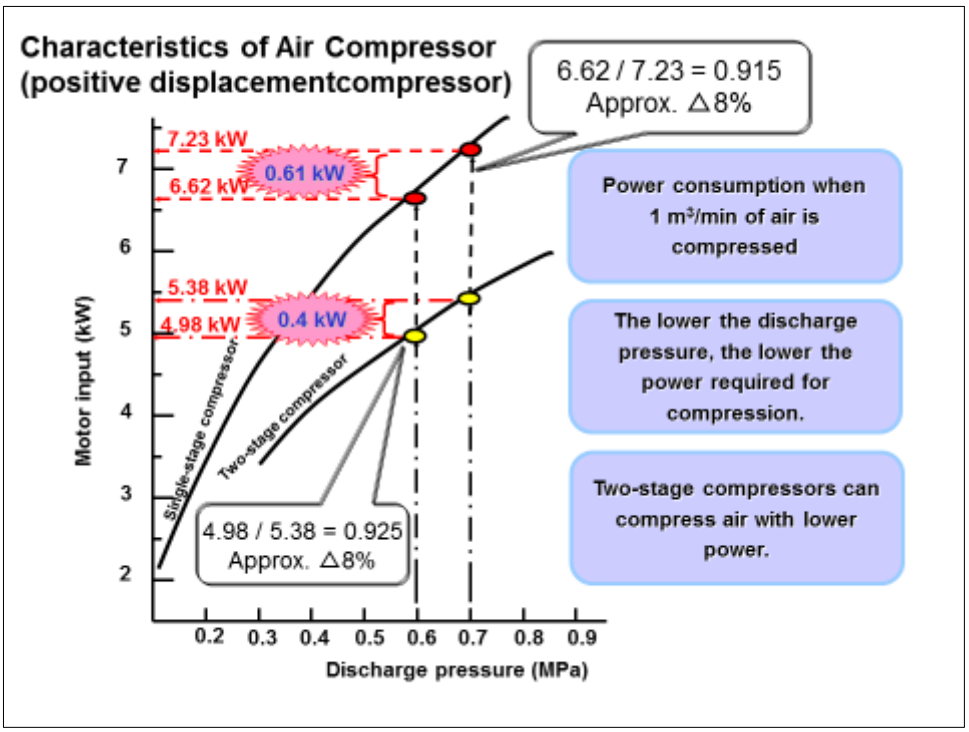
Pressurize Valve

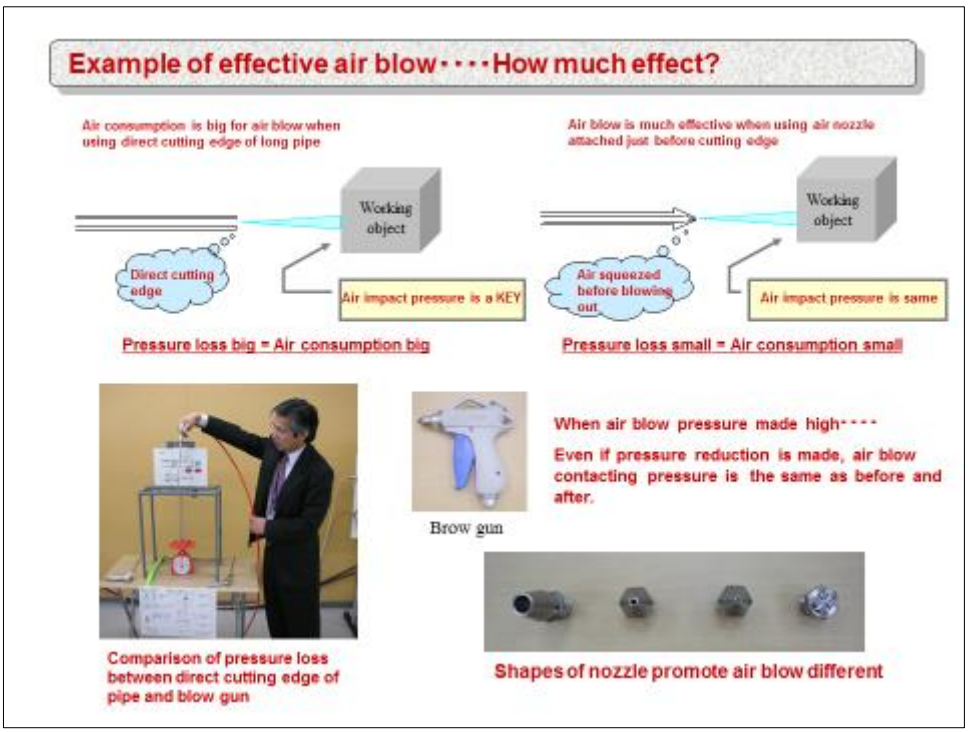
Pressurize valve does not require electricity, so it is easy to install and use.
However, twice as much air is required from source air.
For example, if 500L/min of 0.8MPa air is necessary, it means 1,000L/min of source air is required.
500L/min out of 1,000L/min is exhausted as working air for pressurization. ・・・wasting air

Booster Compressor

Booster Compressor is all air compressed and discharged by itself without any air loss.
Air loss is almost zero during compression process.
Since only little power is used for compression, electric cost is also very little.

Cost saving for 1.5kW power => 110k¥/year.
(Cost calculation : Electric power cost 15yen/kwh, 6,000hr/year)

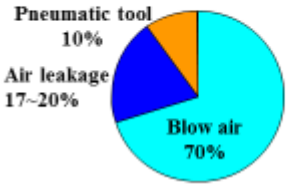

Characteristics of Air Compressor
(positive displacementcompressor)
6.62 / 7.23 = 0.915
Approx. △8%
7.23 kW
6.62 kW
0.61 kW
5.38 kW
4.98 kW
0.4 kW
Single-stage compressor
Two-stage compressor
4.98 / 5.38 = 0.925
Approx. △8%
Motor input (kW)
Discharge pressure (MPa)
Power consumption when 1 m³/min of air is compressed
The lower the discharge pressure, the lower the power required for compression.
Two-stage compressors can compress air with lower power.


Example of effective air blow····How much effect?
Air consumption is big for air blow when using direct cutting edge of long pipe
Air blow is much effective when using air nozzle attached just before cutting edge
Working object
Direct cutting edge
Air impact pressure is a KEY
Air squeezed before blowing out
Air impact pressure is same
Pressure loss big = Air consumption big
Pressure loss small = Air consumption small
When air blow pressure made high····
Even if pressure reduction is made, air blow contacting pressure is the same as before and after.
Brow gun
Comparison of pressure loss between direct cutting edge of pipe and blow gun
Shapes of nozzle promote air blow different

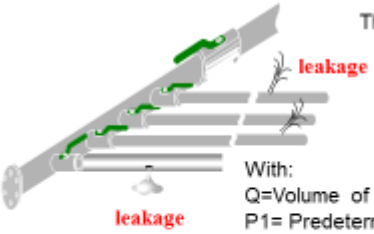
leakage

Recommendation: determine total leakage and reduce it

Leakage Checking Method



1) Operate compressor at night, or holiday, and shut it down when achieving a predetermined pressure value.
2) When the compressor is shut down, due to the leakage, the pressure will automatically decrease. The amount of leakage can be known by measuring the time (T) taken to decrease the pressure by 1 bar.



The formula to determine the leakage (Q) is given below:

$$Q = \frac{(P1 - P2) \times V}{Po(1.033) \times T}$$

With:
Q=Volume of leakage (M3/min)
P1= Predetermined pressure (kg/cm2) (gauge pressure + 1.033kg/cm2)
P2= Pressure after leakage (kg/cm2) (gauge pressure + 1.033kg/cm2)
T=Time taken to reduce pressure from P1 to P2 (min)
Po= Atmospheric air pressure(kg/cm2)
V= Piping capacity (Mm3) (In case of your company; 72.31m3)

Air Leakage at Various Areas and Energy Loss

There is a report that as much as 20% of leakage exists in a plant on average.
Since leakage directly leads to energy loss, it is the highest priority issue for air systems.
Be aware that leakage may occur anywhere.

If there is a leakage of 200 liters per minute, the annual loss cost is: (assuming 1 M^3 = 1.8 yen)
200 ÷ 1000 x 60 x 8000 hrs/yr x 1.8 yen/kWh = 172, 800 yen/yr.

Understand the difference between external leakage and internal leakage

Check the leakage point example and leakage amount.

(1) Leakage from a pipe

(2) Leakage from a coupler

Note that a leakage often occurs at valves and joints.

(3) Leakage from an internal component of a device

Internal leakage may occur at a solenoid valve, air cylinder, or other components.

The air leak point

Leakage cases

20% of leakage exists in a plant on average

point:valves

17. 4L/min

point:air gun

49. 2L/min

point:hoses

59. 4L/min

point:hose joint

59. 4L/min

point:regulator

71. 7L/min

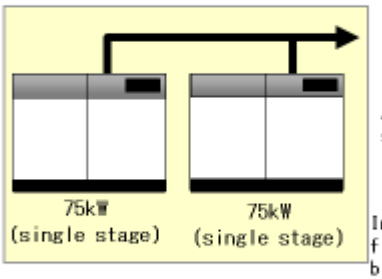
point:coupler

27. 7L/min

35

Adopt 2 stage compressor with higher efficiency

If compressors are almost all the time running at full load, larger size would be better. (Note: in case the fluctuation is dominant, decentral system is better.)



offer

Adoption of 2 stage compressor

In case fluctuation is big;

	75kW x 1 unit	75kW x 2 unit	150kW x 1 unit
Input power kW	81.0	162.0	160.0
Air Delivery m³/min	12.4	24.8	28.5
Specific power kW/(m³/min)	6.53	6.53	5.61

※ Specific power = Input power ÷ Air delivery

16% improvement in Specific power!!!

Example of Ending Up with Increased Energy Consumption

One of 2 old machines was replaced with the latest model.
Because the latest model machine has a higher discharge air volume, it was operated as a base machine.
As a result, energy consumption increased approximately 10%.

Cause: The older machine was operated with capacity control. Because naturally it did not have good control characteristics, power consumption increased.
Action taken: Make the latest model machine dedicated for capacity control.
As a result, approximately 20% energy saving was achieved.

Existing machines

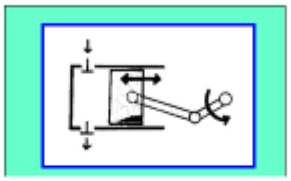
There was a need of energy saving.

Replacement machines

The highly-efficient inverter was operated as a base machine.

Energy saving by combination operation …

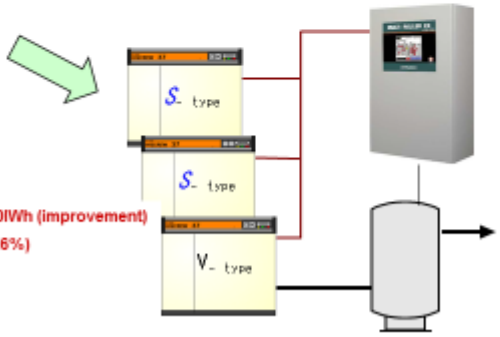
Replacement of reciprocating compressor



Replacement of reciprocating compressor
150kW class

Energy saving 17.6%

Combination with OSP-55VA + OSP-55SA x2 unit
- Much reduction of maintenance fee
- Improvement in vibration troubles
- Reduction of labor cost
- Environment protection (improvement for oil leakage, drain troubles)



Power consumption per year : 319,500kWh => 264,000IWh (improvement)
Energy saving : about 0.5m¥/year (energy saving 17.6%)

Example of separate operation

OS-160U5

100kW electric power was kept consuming

=> Average 54kW of power is saved

Energy saving 45%

125kW and 160kW was controlled individually by manual.

Chose suitable compressor, calculating from load ratio and necessary air consumption.

OSP-75VW x 2 units are improved to control by lead lag operation (2 units will run in a peak power)

Power consumption per year : 685,140kWh => 370,032kWh (improvement)

Energy saving : about 400M¥/year

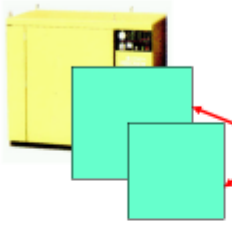
Centralized operation for energy saving··· From decentralized operation to centralized operation (power saving at night shift)

Power consumption per year 303,920kWh => 169,600kWh(improvement)

Energy saving about 200M¥/year

Energy saving 45%

Only few air is discharged from 3 units of compressor

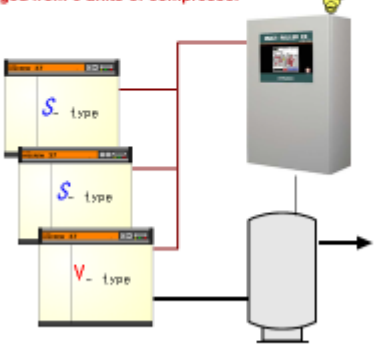


In press process facility (37kW + 22kW + 15kW)

In heat treatment process facility (37kW + 22kW)

Improvement

- Replacement of air compressor
- Size up of piping diameter
- Install electric solenoid valve



Centralization for press process facility (37kW X 2units + inverter 1 unit)

Environment protection ...replacement of reciprocating compressor

Low vibration, low noise level products

Environment protection is necessary!

The sound level is minimized as we can have talk easily.

150kW balanced type compressor

Improvement of power consumption in compressor room with humid environment.

Illustration of wind flow

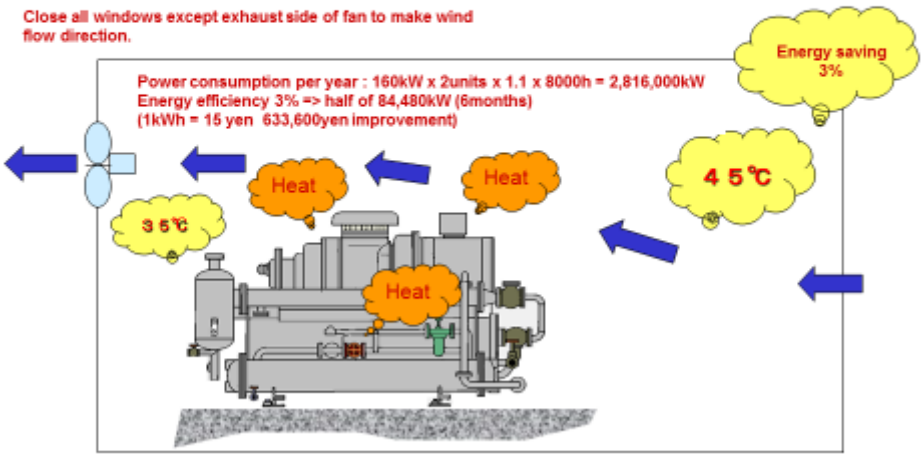
Wind flow was not good for ventilation in the compressor room, so improved wind direction in one way. (figure below)

Close all windows except exhaust side of fan to make wind flow direction.

Inner compressor temperature reduced from 45℃ to 35℃

Energy saving 3%

Power consumption per year : 160kW x 2units x 1.1 x 8000h = 2,816,000kW
Energy efficiency 3% => half of 84,480kW (6months)
(1kWh = 15 yen 633,600yen improvement)

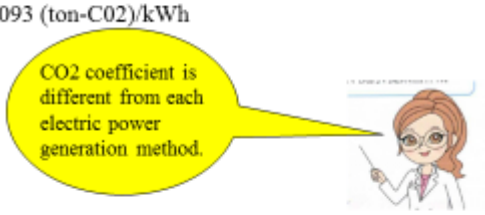


42

Reduction of environment load
--- Verification of reduction effect of CO2 emission

Verify how much of reduction of environment load by Compressor energy saving.

Electricity reduction per year x Coefficient of CO2 emission＝ton/year
Here adopt Default CO2 coefficient = 0.00093 (ton-C02)/kWh



<Eg>
15kW energy saving and 4000Hr running operation per year, then CO2 cut-out is;

15 kW x 4000h x 0.00093（t-CO2/kWh）
= 55 ton of CO2 is reduced.

43

Plan and procedure of energy saving improvement

- environmental protection
- Energy saving act
- Control energy cost
  Measure, Record Log
  Maintenance, service
- Adopt Improvement plan, New process

Through above cycle, verify result of energy saving.
How much of CO2 reduction?
What for environmental protection.

Control progress by reporting, notice, thoroughness of improvement.

After achievement, make it standard, then try to improve more.
Target higher stage.

(5) CA の MRV 方法論（案)

(5)-1 方法論の名称

「圧縮空気システム改善に係る計測、報告、検証」（以降、CA MRV 方法論とする。）

(5)-2 方法論の概要

本 CA MRV 方法論は、従来型の圧縮空気システムの改善を通じ、リファレンスシナリオの下、GHG 排出量を削減するプロジェクトに適用可能である。圧縮空気改善対策は幾つか考えられるが、本方法論においては従来型エアコンプレッサーをインバータ搭載型エアコンプレッサーへ変更することを目指している。

(5)-3 方法論において使用する用語解説

- リファレンスシナリオとは、従来型の圧縮空気システムの継続使用（ビジネス･アズ･ユージュアル（BaU））を指す。

本プロジェクトは、生産能力の拡大を目指すものではないと仮定する。しかし、これを仮定する場合、下記に示すように、リファレンス排出量は生産高或いは生産能力の向上に比例し修正されるものとする。

$$CF_{output} = (P_{output} - R_{output}) / P_{output}$$

CF_{output}: 修正係数

P_{output}: プロジェクト生産高

R_{output}: リファレンス生産高

$$CRE_y = CF_{output} * RE_y$$

CRE_y: 修正リファレンス排出量

RE_y: y 年におけるリファレンス排出量

生産拡大を目指すプロジェクトの場合、削減 GHG 排出量は以下のように計算される：

$$ER_y = CRE_y - PE_y(-L_y)$$

- プロジェクトシナリオは、従来型エアコンプレッサーからインバータ搭載型エアコンプレッサーへの変更による圧縮空気システムの改善をさす。
- プロジェクト範囲

  プロジェクト範囲は以下をさす：

  リファレンス及びプロジェクト両シナリオ下の GHG 排出量の決定のため、排出源として次を含める：

  ➢プロジェクトサイトに接続しているプロジェクトサイトの発電所、及び（或いは）、配電網

  ➢電力を消費する機器

  ➢圧縮空気システムが使用される各室

- 漏洩排出

  エアコンプレッサー取替後、元のエアコンプレッサーはプロジェクト実施サイトの如何なる場所においても使用されないことから、漏洩排出はないと推定する。

(5)-4 適格性要件

本方法論は、次の基準を全て満たすプロジェクトに適用される。

		チェック
要件 1	プロジェクトは、従来型エアコンプレサーからインバータ搭載型への機種変更を通じて、既存の圧縮システムの改善に係るものである。	□
要件 2	インバータ搭載型エアコンプレッサーへの機種変更後、元のエアコンプレッサーは、プロジェクトサイトの如何なる場所においても再利用されない。	□
要件 3	圧縮空気システムは、プロジェクトサイトにおける主要なエネルギー消費源である。従って、前述の 3 種類の方策によって圧縮空気システムを改善することがエネルギー消費量削減および CO2 排出量削減につながる。（レトロフィットは含まない）	□
要件 4	エアコンプレッサーへの投入エネルギー量は計測可能かつ（或いは）カタログにて把握できる。全てのエアコンプレッサーのカタログが入手可能である。	□
要件 5	レファレンスシナリオ・プロジェクトシナリオの電気は接続している送電網から供給する。	□

(5)-5 算定方法の選択

削減 GHG 排出量の計算において、プロジェクト開発者は下記の図 2-16 を使用して最適な算定方法を選択することができる。

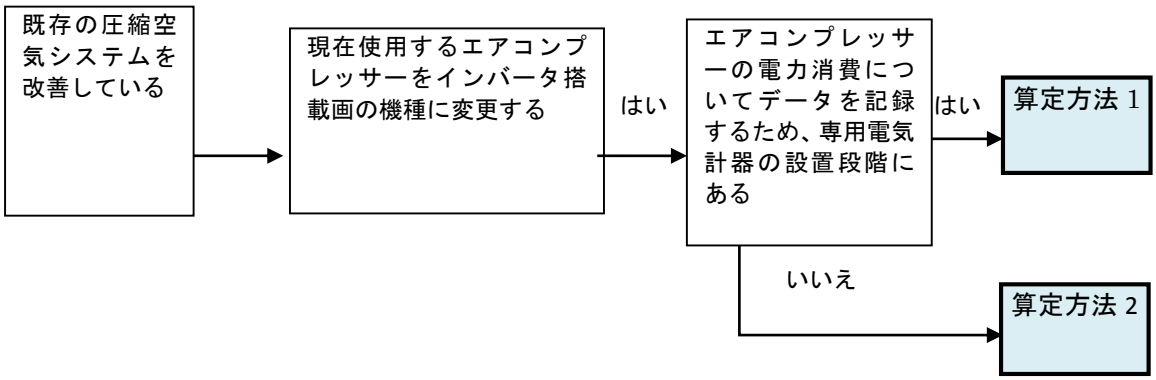


図 2-16　算定方法の選択

次項にて、上記のフローチャートにある算定方法についての詳細、及び、計算において考慮すべき項目について詳細に説明する。

(5)-5-1 算定方法 1

算定方法 1 は、従来型エアコンプレッサーをインバータ搭載型の機種へ変更する過程にある場合に採用する。リファレンスシナリオはインバータ搭載でないエアコンプレッサー、プロジェクトシナリオはインバータ搭載型のエアコンプレッサーを差す。いずれのシナリオにおいても、投入エネルギーは電力であることが前提である。従って、計測ツールとして専用電気計器を使用する。

(5)-5-1-1 削減排出量

削減排出量は通常、以下のように計算される：

$$ER_y = RE_y - PE_y(-L_y)$$

ER_y：　y 年における削減 CO2 排出量（CO2 トン／年）

RE_y：　y 年におけるリファレンス CO2 排出量（CO2 トン／年）

PE_y：　y 年におけるプロジェクト CO2 排出量（CO2 トン／年）

L_y： y 年における漏洩排出量（CO2 トン $_2$／年）

現行の CA MRV 方法論においては、漏洩排出量はゼロと推定する。このため、削減排出量は次のように計算される：

$$ER_y = RE_y - PE_y$$

以下の場合、

$$RE_y = AEI_{yNC} * EEF$$

$$PE_y = AEI_{yIC} * EEF$$

削減排出量は次の通り：

$$ER_y = [AEI_{yNC} - AEI_{yIC}] * EEF$$

上記計算式にて使用するパラメーターは以下のとおり：

AEI_{yNC}： y 年における従来型エアコンプレッサー（NC）への年間投入電力量（キロワット時／年）

AEI_{yIC}： y 年におけるインバータ搭載型エアコンプレッサー（IC）への年間投入電力量（キロワット時／年）

EEF： 電力の CO2 排出係数（CO2 トン／キロワット時）

上記に基づき、リファレンス排出量及びプロジェクト排出量を計算するためのモニタリングデータ及び投入データを下記の表に示す：

リファレンス排出量及びプロジェクト排出量計算用モニタリングデータ及び投入データ

データ	値	単位
従来型のエアコンプレッサー（NC）への年間投入電力量		キロワット時／年
インバータ搭載型エアコンプレッサー（IC）への年間投入電力量		キロワット時／年

電力の CO2 排出係数		CO2 トン／キロワット時

注：AEI_{yNC} と示される従来型エアコンプレッサー（NC）への年間投入電力量及び AEI_{yIC} と示されるインバータ搭載型エアコンプレッサー（IC）への年間投入電力量に関するデータは専用電気計器により収集する。EEF と示される電力の CO2 排出係数はインド（正確にはインド内のプロジェクト実施地域）の現状に則った既定値を採用し、これを電力会社及び（或いは）公共値から収集する。

リファレンス排出量計算用モニタリングパラメーター

パラメーター	説明	計測方法（例）
AEI_{yNC}	従来型エアコンプレッサー（NC）	専用電気計器
AEI_{yIC}	インバータ搭載型エアコンプレッサー（IC）	専用電気計器
EEF	電力の CO2 排出係数	国内電力会社の公共値或いは既定値

(5)-5-1-2 計算表

1. 削減 CO2 排出量計算		エネルギーの種類	値	単位	パラメーター
	削減 CO2 排出量			CO2 トン	ER_y
2. 既定値					
	電力の CO2 排出係数			CO2 トン／キロワット時	EEF
3. リファレンス排出量計算					
	リファレンス CO2 排出量			CO2 トン	RE_y
	従来型エアコンプレッサー（NC）への年間投入電力量	電力		キロワット時／年	AEI_{yNC}
4. プロジェクト排出量計算					
	プロジェクト CO2 排出量			CO2 トン	PE_y
	インバータ搭載型エアコンプレッサー（IC）への年間投入電力量	電力		キロワット時／年	AEI_{yIC}

(5)-5-2 算定方法 2

算定方法 2 は、従来型エアコンプレッサーがインバータ搭載型エアコンプレッサーに変更される過程にある場合に適用される。算定方法 1 との違いは、リファレンスシナリオ下、プロジェクトシナリオ下のいずれにおいても、エアコンプレッサーの消費電力量を精密に計測する専用電気計器は設置の過程にないことである。エアコンプレッサーの消費電力量はカタログ、銘板情報札、図式値（既定値）に基づき推測されている。従って、算定方法 1 と 2 の違いは、下記に示すように、リファレンスシナリオとプロジェクトシナリオそれぞれにおける消費電力量の計測手順のみであろう。

リファレンス排出量計算用モニタリングパラメーター

パラメーター	説明	計測方法（例）
AEI_{yNC}	従来型のエアコンプレッサー（NC）への年間投入電力量	カタログ、銘板情報札、図式値
AEI_{yIC}	インバータ搭載型エアコンプレッサー（IC）への年間投入電力量	カタログ、銘板情報札、図式値
EEF	電力の CO2 排出係数	国内電力会社の公共値或いは既定値

AEI_{yNC} で示される従来型エアコンプレッサー（NC）への年間投入電力量及び AEI_{yIC} で示されるインバータ搭載型エアコンプレッサー（IC）への年間投入電力量の計測に関する詳細は以下の通り：

- AEI_{yNC} で示される従来型エアコンプレッサー（NC）への年間投入電力量

エアコンプレッサーの消費電力量には複数の変数が関係する。エアコンプレッサーは常に全負荷の電力量で運転しているとは限らない。設定空気圧を必要としていない時、エアコンプレッサーは運転を停止する場合がある。全電力装置の消費電力量は、電圧とアンペア数から成り、2 つの因数を掛け合わせることによりワット数が算出される。電圧、アンペア数に加え、3 番目の因数として時間がある。電力料金請求書は全てキロワット時（KWH）で計算され、キロは 1,000 に相当し、ワット数は消費電力、時間はある電気負荷下での運転時間を示す。

$$AEI_{yNC} = \sqrt{3}[OV * FLA]x0.85/1000 * AOH$$

上記計算式にて使用するパラメーターは次のとおり：

OV: 作動電圧（V）
FLA: 平均負荷アンペア数（A）
AOH: 年間運転時間（Hr）

従来型エアコンプレッサー（NC）への年間投入電力量計算手順：

1) 従来型エアコンプレッサーの電気制御システムに運転時間計を設置する。時間計は、エアコンプレッサーが電気操作を行っている間の総時間数を記録するよう接続されなければならない。同時間数は、行動記録簿のデータ記入用紙を使用して記録することもできる。
2) 従来型エアコンプレッサーの銘板情報札を入手する（或いは、関連カタログを参照する）。エアコンプレッサーの金属識別板にはエアコンプレッサーの原動機に関する電力情報が記載されている。ここで作動電圧及び全負荷アンペア数を確認する。全負荷アンペア数とは、原動機に全運転負荷或いは全機械的負荷がかけられている際に、原動機が消費する総アンペア数を差す。
3) 電圧とアンペア数を掛け合わせ、ワット数を算出する。例として、240 ボルトの電圧に 50 アンペアの全負荷アンペア数で作動している場合、総全負荷電力消費量は 12,000 ワットとなる.
4) 12,000 ワットを 1,000 で割り、エアコンプレッサーの消費キロワット数を算出する。コンプレッサーの消費電力は 12 キロワットとなる[1]. 三相交流の場合、

   12,000 * (1.73 * 0.85)/1,000 = 17.612 キロワット.

5) 時間計或いは行動記録簿のデータ記入用紙を使用し、一日の中で従来型コンプレッサーが平均負荷率をかけた状態で運転している時間を記録する。例として、時間計（或いは行動記録簿）が一日 10 時間の全負荷運転時間を記録したとすると、前に算出した 17.612 キロワットにこれを掛け合わせ、一日 176.12 キロワット時と計算する。
6) 年間で何日間従来型エアコンプレッサーが運転しているかを把握する。例えば、エアコンプレッサーが年間 310 日間、一日 176.12 キロワット時で作動しているとすると、年間総電力消費量は 54,597.2 キロワット時となる。

上記の計算手順により、年間当入電力量は次のように示される：

AEI_{yNC} = 54,597.2 キロワット時

[1]三相交流のケースの場合、12000 X (1.73 X 0.85)/1,000.
(0.85=力率)

7) 聴取の実施或いはクランプの使用により、一サイクルにおける従来型エアコンプレッサーの負荷時間と非負荷時間の割合を決定する。
8) 以下の方法の内の一つを使用する。

方法 1：下記の図式値を使用し、従来型エアコンプレッサーからインバータ搭載型エアコンプレッサーへの変更による削減消費電力量の比率を計算する。その方法は、従来型エアコンプレッサー及びインバータ搭載型エアコンプレッサーの各ケースにおいて、消費電力量の割合（縦軸）に負荷がかかっていない時間（横軸）の割合を推定する。この結果、比率（X パーセント）が得られる。従来型エアコンプレッサーの負荷がかかっていない時間を 30 パーセントと仮定し、図式値を参照すると、従来型エアコンプレッサー使用の場合（リファレンスシナリオ）と同容量のインバータ搭載型エアコンプレッサー（プロジェクトシナリオ）の消費電力量の割合における違いは 17 パーセントと算出される。

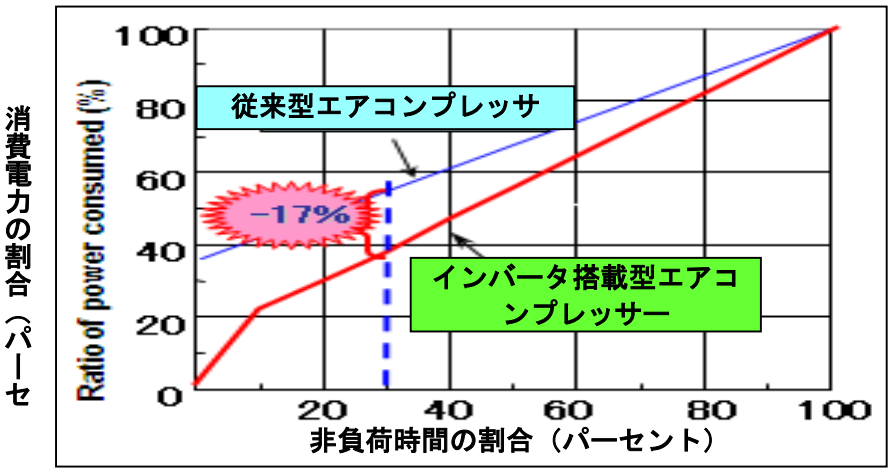


図 2-17　消費電力量の削減比率（従来型→インバータ搭載型エアコンプレッサー）

方法 2：2 種類のインバータ搭載型エアコンプレッサー(V-M)の組み合わせの場合、省エネ率“X”は、非インバータ搭載型エアコンプレッサー、インバータ搭載型エアコンプレッサーにかかる両方の曲線において使用されている空気量比率（横軸）および消費電力量比率（縦軸）から推定することができる。結果は“X%”となる。例えば、使用空気量が 60%と推定すると、下図 2-18 によると、消費電力量において 40%の削減が達成できるであろう。

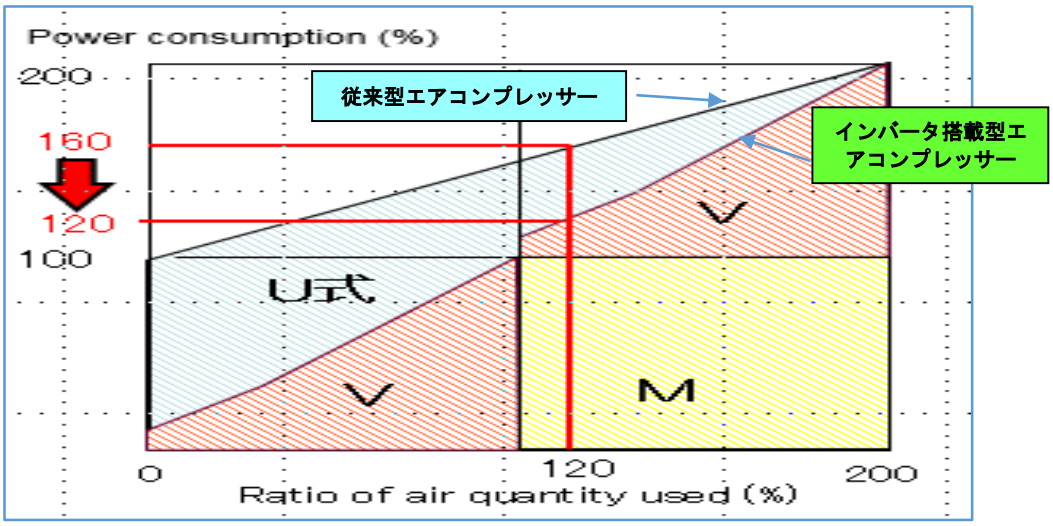


図 2-18　消費電力量の削減比率
（2 種類のインバータ搭載型エアコンプレッサー(V-M)の組み合わせの場合）

- AEI_{yIC} で示されるインバータ搭載型エアコンプレッサー（IC）への年間投入電力量

インバータ搭載型エアコンプレッサー（IC）への年間投入電力量は下記のように計算される：

$$AEI_{yIC} = (100\% - X\%) * AEI_{yNC}$$

上記計算式にて使用するパラメーターは以下の通り：
X パーセント＝従来型エアコンプレッサーのインバータ搭載型の機種への変更により得られる削減消費電力量の割合（現状の動力負荷率―インバータ機導入後の動力負荷率）

(5)-5-2-1 削減排出量

算定方法 1 に類似し、計算式は次の通り：$ER_y = [AEI_{yNC} - AEI_{yIC}] * EEF$

上記計算式にて使用するパラメーターは以下の通り：

AEI_{yNC} ：　y 年における従来型エアコンプレッサー（NC）への年間投入電力量（キロワット時／年）

AEI_{yIC} ：　y 年におけるインバータ搭載型エアコンプレッサー（IC）への年間投入電力量（キロワット時／年）
EEF ：　電力の CO2 排出係数（CO2 キログラム／キロワット時）

$$ER_y = [AEI_{yNC} - AEI_{yIC}] * EEF$$

$AEI_{yIC} = (100\% - X\%) * AEI_{yNC}$ である場合、削減排出量は以下の通り：

$$ER_y = [(X\% * AEI_{yNC}] * EEF$$

(5)-5-2-2 計算表

1. 削減 CO2 排出量計算		エネルギーの種類	値	単位	パラメーター
	削減 CO2 排出量			CO2 トン	ER_y
2. 既定値					
	電力の CO2 排出係数			CO2 トン／キロワット時	EEF
	作動電圧			V	OV
	全負荷アンペア数			A	FLA
	三相のケースの場合			1.73	
	力率			0.85	
	年間運転時間			時間／年	AOH
	従来型エアコンプレッサーからインバータ搭載型の機種への変更による削減電力消費量の割合			%	X
3. リファレンス排出量計算					
	リファレンス CO2 排出量			CO2 トン	RE_y
	従来型エアコンプレッサー（NC）への年間投入電力量	電力		キロワット時／年	AEI_{yNC}
4. プロジェクト排出量計算					
	プロジェクト CO2 排出量			CO2 トン	PE_y
	インバータ搭載型エアコンプレッサー（IC）への年間投入電力量	電力		キロワット時／年	AEI_{yIC}

(5)-6 Project Design Document（案）

A. プロジェクトの記述

A.1. プロジェクト名

インド鋳造工場へのインバータ式空気圧縮機導入

A.2. プロジェクト及び適用技術及び/または措置の概要

圧縮空気システムの改善には複数の方法がある。 本プロジェクトでは既存空気圧縮機をインバータ型空気圧縮機（ハードウェア）に格上げすることだけに重点を置く。具体的には、既存の 90kW の一定速空気圧縮機の代わりに 90kW のデュアル型（V-M の組み合わせ）のインバータ式空気圧縮機の導入の検討を提案する。これによりエネルギー節約、CO2 排出削減、運転コストの大規模低下を確実化する。

さらに、インバータ型空気圧縮機の設置と同時に考えられる追加的な提案事項は : 漏れの低減、インタークーラとアフタークーラからのブローを止める、ドレントラップを採用する、より効果的なブローガンの採用、省エネカプラの採用、レシーバタンクの簡易点検（目視）、エネルギー監視システム採用である。技術提供側の専門家は、必要に応じて、必要なキャパシティ・ビルディングと上記提案項目の取り組み方に関するトレーニングを提供する。

A.3. プロジェクトの実施場所（経度度緯度を含む）

国名	インド
州/郡	マハラシュトラ州
市/町/地区	プネ
所在地	Gat No. 318, Gaon Urse, Tal. Maval, Pune – 410 506. India

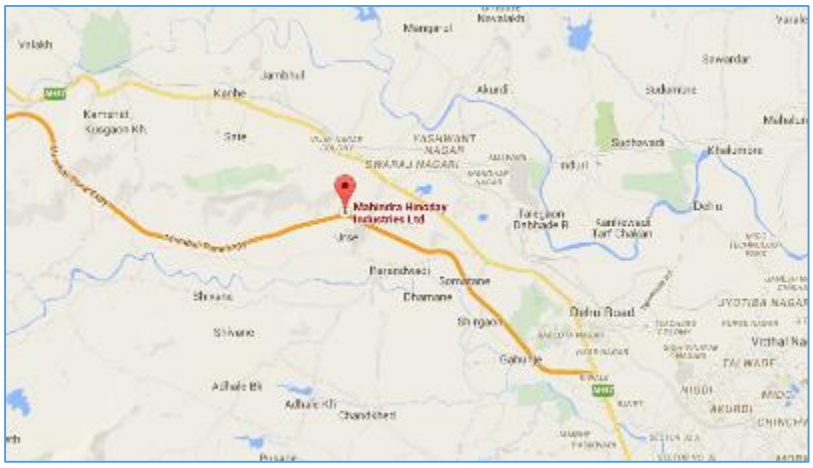


図 2-19　プロジェクトサイトの所在地地図

A.4. プロジェクト参加者名

インド	Mahindra Hinoday Ind. Ltd.
日本	株式会社日立産機システム（他の参画者は後日確認）

A.5. プロジェクト期間

プロジェクトの開始日	後日決定
プロジェクト実施期間	15 年

A.6. 先進国からの貢献

提唱のプロジェクトでは日本から先端的インバータ式空気圧縮機の技術移転が行われる。株式会社日立産機システム（IES）は技術ノウハウ移転の一環として現地スタッフのトレーニングを実施する。

B. 承認方法論の適用

B.1. 方法論の選択

採択・認証方法論番号	JCM-JP-**-****　（初稿は現在作成中)
バージョン番号	Ver. **（作成中）

B.2. プロジェクトが承認方法論の適用性要件をどのように満たすかに関する説明

適格要件	方法論の説明	プロジェクト情報
要件 1	本プロジェクトは、既存の空気圧縮機をインバータ式圧縮機へのグレードアップすることによる圧縮空気システムの改善である。	提言は現在使用しているスクリュー圧縮機をインバータ式圧縮機にグレードアップする事である。

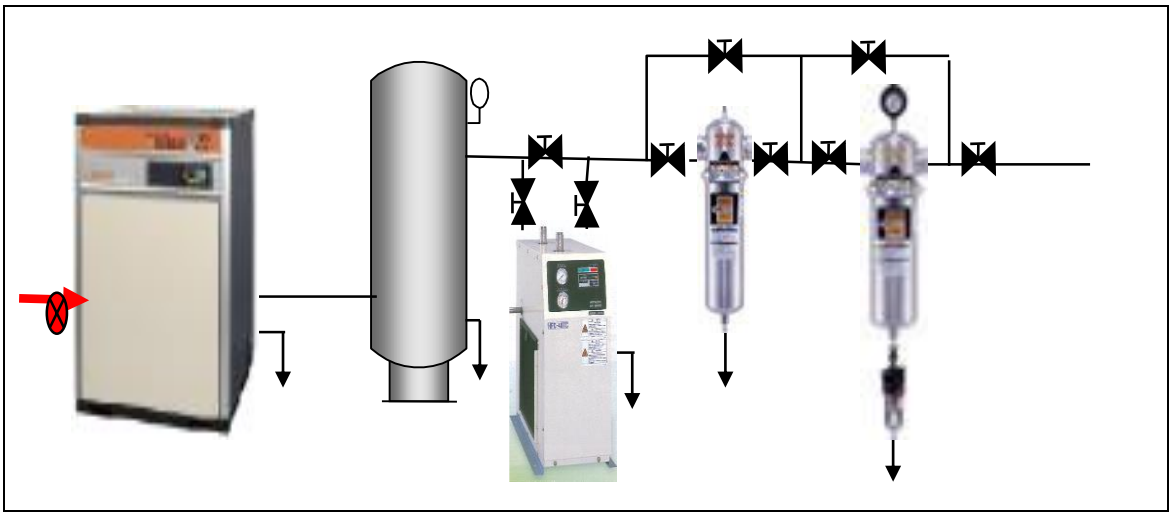
要件 2	インバータ式空気圧縮機と入れ替える旧空気圧縮機はサイト内の他のどの場所でも使用されない。	インバータ式空気圧縮機と交換する旧スクリュー式空気圧縮機は現場内の他のどの場所でも使用されない。
要件 3	圧縮空気システムはサイトでは重要なエネルギー源であり、結果的にインバータ式機の導入はエネルギー節約および CO2 排出削減につながる。	工場の合計電力消費は毎月 6,480 MWh で、その 10～20%を空気圧縮機が占める。インバータ式空気圧縮機導入により年間 302t の CO2 削減が見込まれる。
要件 4	空気圧縮機への投入エネルギーはカタログに基づいて計測可能である。全空気圧縮機のカタログは入手可能である。	空気圧縮機へのエネルギー投入は現地の計器で計測可能である。
要件 5	レファレンスシナリオ・プロジェクトシナリオの電気は接続している送電網から供給する。	電気は送電網から供給する。

C. .排出削減量の算定

C.1. プロジェクトに関連する全ての排出源と関連する温室効果ガス

現状の排出	
排出源	温暖化ガス
スクリュー型空気圧縮機の消費電力	CO2
プロジェクトでの排出	
インバータ型空気圧縮機の消費電力	CO2

C.2. プロジェクトに関連する全ての排出源及びモニタングポイント



C.3. 各年の推定排出量削減量

年	現状の推定排出量(tCO_{2e})	プロジェクト実行後の推定排出量(tCO_{2e})	推定排出削減量(tCO2e)
1 年目	755	453	302
2 年目	755	453	302
3 年目	755	453	302
4 年目	755	453	302
5 年目	755	453	302
合計 （例 : 5 年間） (tCO2e)	3,775	2,265	1,510

D. 環境影響評価

本プロジェクトの環境インパクト評価の法的必要条件	無し

E. 現地利害関係者との協議

E.1. 現地利害関係者からの要請

IGES と TERI は日立産機システムの専門家と合同で 2014 年 10 月 10 日に Mahindra Hinoday 社に於いてインバータ式空気圧縮機導入の実施可能性に関する現地調査を実施した。調査時と共に調査団は経営者の Kushal Triredi 氏との面談もおこなった。同氏は技術に強い関心を寄せ、研究結果への期待を表明した。同社は 2 週間の既存システムのモニタリングの実施に協力を申し出た。データ収集と分析を実施はしたが、残念ながら収集データの正確性が十分では無く、インバータ式空気圧縮機導入の総合的な影響について充分に状況を示すまでには無かった。

E.2. 害関係者からのコメントおよび見解のまとめ

調査報告書は調査先に提出したばかりであるため、現在、調査先からのコメントを待っているところである。

F. 添付資料

圧縮空気機器のカタログ

別添

(1) モニタリング計画シート（投入シート）
(2) モニタリング計画シート（計算プロセスシート）
(3) モニタリング構成シート

PDD の修正履歴

バージョン	日付	修正内容
01.0	2015 年 2 月 6 日	初版

(7) 別添

別添(1): モニタリング計画シート（投入シート）[attachment to PDD for Mahindra Hinoday Co. Ltd]

Table 1: Parameters to be monitored to calculate baseline emission

(a) Monitoring point No.	(b) Parameters	(c) Description of data	(d) Estimated Values	(e) Units	(f) Monitoring option	(g) Source of data	(h) Measurement methods and procedures	(i) Monitoring frequency	(j) Other comments
2.1	EEF	電力のCO2排出係数	0.98	t-CO2／キロワット時	Option A	国内電力会社の公共値或いは既定値	国内電力会社の公共値或いは既定値	Every verification	
2.2	OV	作動電圧	220	V	Option B	カタログ、銘板情報札	カタログ、銘板情報札	Every verification	
2.3	FLA	全負荷アンペア数	290	A	Option B	カタログ、銘板情報札	カタログ、銘板情報札	Every verification	
2.5		力率	0.90		Option A	国内電力会社の公共値或いは既定値	国内電力会社の公共値或いは既定値	Every verification	
2.6	AOH	年間運転時間	7,740	時間／年	Option c	From the site	Monitored data or hearing	contunious	

Table 2: Project-specific parameters to calculate project emission

(a) Monitoring point No.	(b) Parameters	(c) Description of data	(d) Estimated Values	(e) Units	(f) Monitoring option	(g) Source of data	(h) Measurement methods and procedures	(i) Monitoring frequency	(j) Other comments
2.7	X	従来型エアコンプレッサーからインバーター搭載型の機種への変更による削減電力消費量の割合	40	%	Option B	図式値	図式値	Every verification	

Table3: *Ex-ante* estimation of CO_2 emission reductions

CO_2 emission	Units
302	t-CO2/Y

Monitoring option

Option A	Based on public data which is measured by entities other than the project participants (Data used: publicly recognized data such as statistical data and specifications)
Option B	Based on catalogues, Information plates, and/or hearing
Option C	Based on the actual measurement using measuring equipments (Data used: measured values) or hearing

別添(2): モニタリング計画シート Monitoring Plan Sheets (計算プロセスシート) [attachment to PDD for Mahindra Hinoday Co. Ltd]

1. 削減 CO2排出量計算		エネルギーの種類	値	単位	パラメーター
1.1	削減CO2排出量		302	CO_2トン	ER_y
2. 既定値					
2.1	電力のCO_2排出係数		0.98	CO2キログラム／キロワット時	EEF
2.1	作動電圧		220	V	OV
2.3	全負荷アンペア数		290	A	FLA
2.4	三相のケースの場合		1.73		
2.5	力率		0.9		
2.6	年間運転時間		7,704	時間／年	AOH
2.7	従来型エアコンプレッサーからインバーター搭載型の機種への変更による削減電力消費量の割合		40	%	X
3. リファレンス排出量計算					
3.1	リファレンスCO2排出量		754.1499574	CO_2トン	RE_y
3.2	従来型エアコンプレッサー（NC）への年間投入電力量	電力	769540.7729	キロワット時／年	AEI_{yNC}
4.プロジェクト排出量算					
4.1	プロジェクトCO_2排出量		452.4899745	CO_2トン	PE_y
4.2	インバーター搭載型エアコンプレッサー（IC）への年間投入電力量	電力	461724.4637	キロワット時／年	AEI_{yIC}

別添 (3): モニタリング構成シート [attachment to PDD for Mahindra Hinoday Co. Ltd]

Responsible personnel	Role
特別目的事業体の最高責任者	プロジェクトの運営全体管理、計測・モニタリングにおける役割・立場の配置
プロジェクトマネージャ	総合的なモニタリングの実施、プロジェクト管理と記録データを含むモニタリングシステムの定期的な見直し。モニタリング・収集されたデータに基づき排出削減計算を担当する。モニタリングのためのトレーニングまたはセミナーを計画する。
プロジェクト副マネージャ	データベース管理、モニタリングデータの定期的な見直し、および確認。データ記録担当スタッフの監督をする。
スタッフ	情報収集およびモニタリング要件に従ってスプレッドシートへデータ記録。

2.3 結論・今後の進め方

本年度 IGES と TERI が実施した圧縮空気システムの実施可能性調査（FS）では、対象企業の何れのサイトにおいても、圧縮空気システム技術の導入による CO2 排出削減ポテンシャルがあることが分かった。具体的な改善対策の効果は、各企業の機器・機種、設置・運用環境等によって条件が異なるため、その提案内容や CO2 削減効果は異なる。

来年度は、事業化に向けた検討のため、今年度の FS を実施した現地企業 6 社の内、CO2 削減効果、ならびに、本プロジェクト事業への参画の積極性や実施環境等を総合的に検討し、総合的なポテンシャルが高いと思われる 3 社を対象に、フォローアップ事業として詳細調査（DS）の実施を検討している。それと共に、日系企業を対象に FS をすすめようと考えている。これまでインドでの活動は日系企業を対象としてこなかったが、日系企業は日本の低炭素技術への理解もあり対応が迅速である点からも、日系企業への展開によりインドにおいて省エネや CO2 削減活動のスピードが速まることが期待でき、日系企業への展開を通じて、まずは、技術の普及と定着化から取り組みたい。幸い対象となりそうな日系企業の候補はあるため、次年度の活動に加えたいと考えている。

ただし、日本とインドは JCM の署名が未締結であることから、現時点ではプロジェクトとしては認可されない。そのため、本事業下では JCM が締結された際に速やかに事業化につながるような調査等の範疇を超えた活動の実施は現時点では困難である。そこで、前述の DS 等の調査活動と並行して、インバータ式コンプレッサーの導入等、日本の技術（機器）の導入を、JCM を使わずに自力で導入が可能そうな企業があれば、導入を実施し、その導入効果を測定してみることも検討していく。それと同時に、実際に技術（機器）を導入したいと考える現地企業が自力で日本の低炭素技術の導入が可能となるようなスキームをインド側・日本側の双方から検討をおこなっていきたい。これらの将来的な事業のための予算獲得が急務となる。

表 2-5　導入可能性調査：各調査企業別　機器に関連する改善対策とその推定効果

GHG排出削減を目的としたインドの選定サイトにおける圧縮空気システム改善のためのハードウェア／機器の導入に関する提案のまとめ

調査サイト名	ハードウェア／機器の導入に関するの提案	推定排出削減量（kWh／年）	推定排出削減量（Ton／年）	推定運転コスト削減額（Rs／年）	初期費用（日本国内市場）（千円）	推定投資回収期間（年）	CO2 1トン分の削減にかかる推定費用（千円／CO2 1トン削減）
Mahindra Hinoday Co. Ltd	Install Inverter A.C (NL-0)	308,160	287	1,848,960	7,000	1.9	24.4
	Install Inverter A.C (NL-1)	308,160	287	1,848,960	7,000	1.9	24.4
	Install Inverter A.C (NL-2)	256,543	239	1,539,259	5,000	1.6	20.9
	Install two stages A.C	391,500	384	2,349,000	30,000	6.4	78.1
	Install Booster	108,864	106	653,184	3,000	2.3	28.3
Ahmednagar Forging Co. Ltd.	Install Inverter A.C	350,000	343	2,362,500	10,000	2.1	29.2
	Install 2 stage A.C	130,500	128	880,875	10,000	5.7	78.1
Bombay Dyeing Co. Ltd.	Install Inverter A.C	60,830	56	334565	3,000	4.5	53.6
Arvind Textile Co. Ltd.	Install Inverter A.C	660,200	647	4852470	12,000	1.2	18.5
	Install high-efficiency drain trap	158,000	155	1161300	4500	1.9	29.0
Morarjee Textile Co. Ltd.	Install Inverter A.C	660,200	647	3961200	12,000	1.5	18.5
	Install Booster	109,000	107	654000	1,400	1.1	13.1
Raymond UCO textile	Install Inverter A.C	660,200	647	3631100	12,000	1.7	18.5
	Install high-efficiency drain trap	63,200	62	347600	1,800	2.6	29.0

【参考文献】

IGES and TERI, 2014. *Research Partnership for the Application of Low Carbon Technology for Sustainable Development (ALCT)*, eds Shiga, Y., Rabhi, A., Ghosh, A. M., Sharma, G., Tachibana, M., Hong, Y., and Suzuki, Y., IGES Kansai Research Centre, Kobe, Japan.

公益財団法人　地球環境戦略研究機関（IGES）平成 25 年度環境省委託事業　二国間オフセット･クレジット制度などの実施に向けたアジア地域における MRV 体制構築支援事業委託業務　業務報告書(1/4)　平成 26 年 3 月(2014)

財団法人　地球環境戦略研究機関（IGES）平成 22 年度アジア・コベネフィット・アプローチ推進パートナーシップ構築に向けた調査検討業務　業務報告書　平成 23 年 3 月(2011)

平成 21 年度外務省第三者評価　インド国別評価（第三者評価）報告書平成 22 年 3 月(2010)(http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/shiryo/hyouka/kunibetu/gai/india/kuni09_01_index.html)(2014 年 11 月 10 日参照)

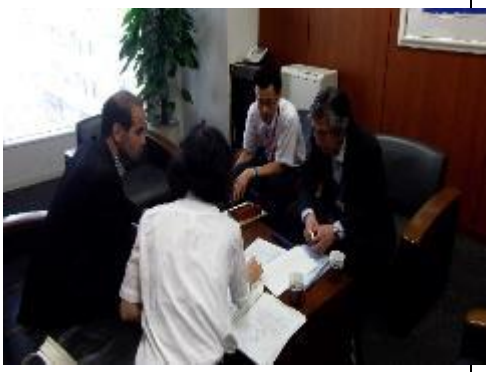
新日本製鐵株式会社、株式会社三菱総合研究所、新日鉄エンジニアリング株式会社、株式会社日鉄技術情報センター平成22 年度地球温暖化対策技術普及等推進事業インド鉄鋼業コークス炉の省エネ技術普及等推進事業　報告書　平成23年3月(2011)

UN DESA, 2009. World Population Prospects: The 2008 Revision.

IGES　Monthly Asian Focus 持続可能なアジアへの視点「インドが進める革新的な気候変動緩和策―注目を集める PAT スキーム－」
http://www.iges.or.jp/jp/archive/Asianfocus/asianfocus201104.html　(2014 年 11 月 10 日参照)

【参考資料】

(1) 第１回協議（キックオフ会議）

日時	2014 年 9 月 9 日　15:00 ~ 16:30
場所	東京（日立産機システム株式会社、本社会議室）
出席者	Rabhi Abdessalem 主任研究員、吉田光方子主任研究員 齋藤司客員研究員（日立産機）、吉崎昭男客員研究員（日立産機）
協議事項	＊　プロジェクトの全体的な活動および日程の確認 ＊　現地調査に関する内容・方法等の確認 ＊　現地ワークショップに関する内容の確認
その他	（キックオフ会議：　関係者による協議） 

(2) 現地調査・ワークショップ

(2)-1　現地調査

日時	2014 年 10 月 5 日~12 日
場所	Nagpur & Pune（Maharashtra 州）、Ahmedabad（Gujarat 州）、インド
調査出席者	（日本側）Rabhi Abdessalem 主任研究員、 齋藤司客員研究員（日立産機）、吉崎昭男客員研究員（日立産機） （インド側）Chetankumar Sangole フェロー、Vivek Sharma 研究員
調査先企業	Nagpur：2 ヶ所（繊維業） Ahmedabad：1 ヵ所（繊維業） Pune：3 ヶ所（繊維業、鍛造業、鋳造業）
	（実施可能性調査） *　実施可能性調査内容、および改善提案内容を含む調査先別実施可能性調査報告は本文を参照。 Nagpur 1（Raymond 社；繊維業） Nagpur 2（Morarjee 社；繊維業）

Ahmedabad（Arvind 社；繊維業）

Pune 1（Bombay Dyeing 社；繊維業）

Pune 2（Ahmednagar 社；鍛造業）

Pune 3（Mahindra 社；鍛造業）

(2)-2　ワークショップ

日時	2014 年 10 月 11 日　9:30 ~ 15:00
場所	Pune、Maharashtra 州、インド
主催	IGES・TERI（共催）
協力	マハラシュトラエネルギー開発公社 (Maharashtra Energy Development Agency (MEDA), India)
参加者数	55 名
	* ワークショップ報告、アジェンダ、参加者リスト、発表資料については、報告書本文を参照。

(3) 第２回協議（ラップアップ会議）

日時	2015 年 2 月 3 日　10:00 ~ 13:00
場所	インド、ニューデリー（TERI 会議室）
出席者	(IGES) Rabhi Abdessalem 主任研究員 (TERI) Girish Sethi 部長、Prosant Pal シニアフェロー、 Mohan Ghosh フェロー、Chetankumar Sangole フェロー
協議事項	* 今年度のプロジェクトの全体的な活動の確認と振り返り * 現地実施可能性調査結果に関する確認と協議 * TERI 実施活動報告分の内容確認と確定 * 来年度以降の活動に関する意見交換
	・ラップアップ協議に先立ち、2015 年 1 月 14 日に日本国内関係者だけでインドでの協議事項の確認等、事前協議を開催、それに基づき IGES と TERI で協議をおこなった。

(4) 合同セミナー

日時	2015 年 2 月 6 日　9:00 ~ 10:00
場所	インド、ニューデリー（Taj Palace Hotel）
出席者	(IGES)　浜中 裕徳 理事長 Rabhi Abdessalem 主任研究員 (TERI)　R K Pachauri 所長 Rabindra N Mallik Girish Sethi 産業エネルギー効率部門 部長 Prosanto Pal 産業エネルギー効率部門 シニアフェロー、 Chetankumar Sangole 産業エネルギー効率部門 フェロー (Shakti)　Krishan Dhawan 会長 Shashank Jain Prasun Pandey
協議事項	*　これまでの研究プロジェクト活動概要の確認と振り返り *　研究プロジェクト活動成果の共有とその普及展開に関する意見交換 *　来年度以降の活動に関する意見交換および協力体制
	＝協議メモ＝ 1) これまで調査してきた技術に関して、プロジェクトとしての実施可能性を特定する（それらの技術の導入や促進活動を実施するための詳細調査および出資機関との協力）。 2) 新しい技術を含むように、対象技術を拡大する。 3) 研究活動の結果を普及し、日本とインドの間でビジネスとビジネス（B2B）の間、ビジネスと出資機関との間のマッチメイキングを促進するために、日本やインドの地方自治体と連携する。