

インバータ省エネOJT教育成果と インバータ省エネ期待値

三菱電機株式会社 環境推進本部
馬場 計明

1.はじめに

三菱電機の全社省エネ小集団活動の紹介

2.我が国におけるインバータの導入状況と省エネ期待値

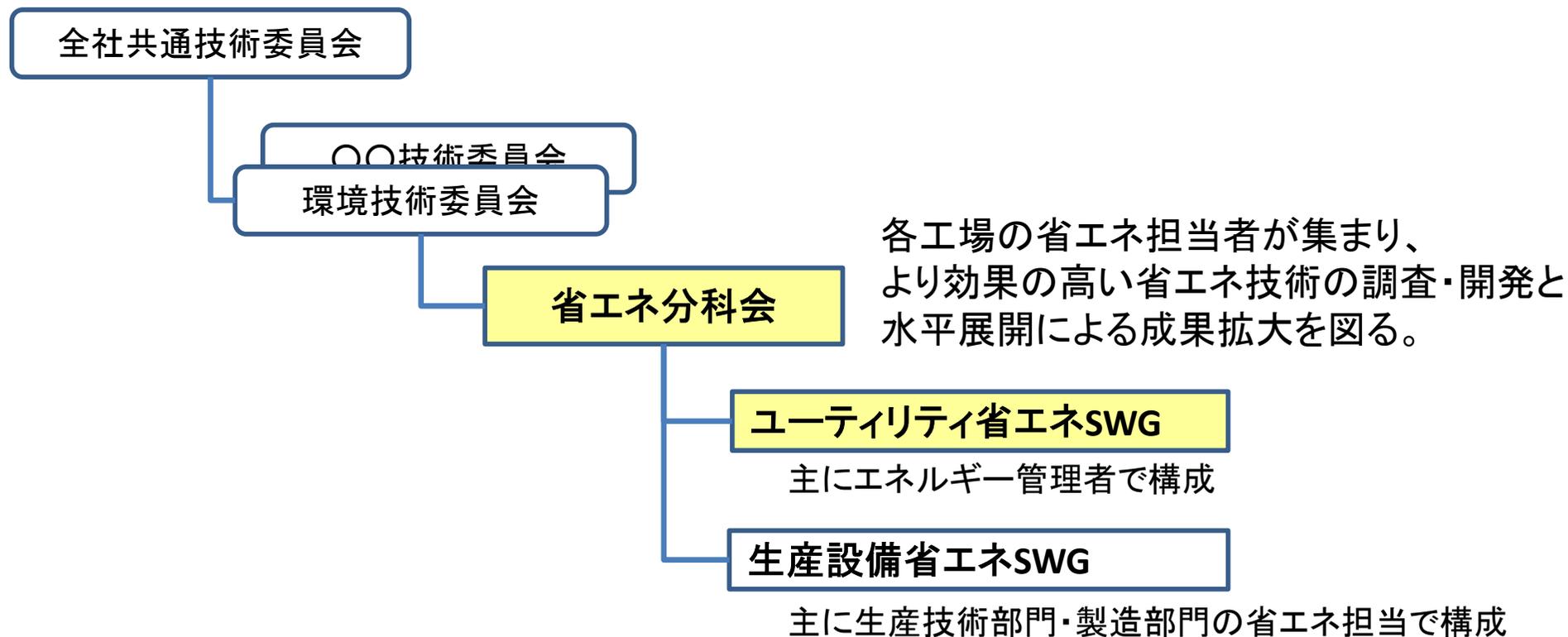
- (1)ポンプのインバータ駆動率
- (2)ポンプのインバータ駆動率が増加した場合を想定した省エネ効果試算
- (3)インバータ省エネ技術
 - ①インバータ化による省エネ効果が得られるケース
 - ②インバータ化による省エネ効果が得られないケース
 - ③ポンプインバータ化省エネのライフサイクル分析

3.インバータ省エネ教育

- (1)経緯
- (2)実工場設備のインバータ省エネ体験OJT概要
- (3)社内インバータ技術部門との連携教育
 - ①インバータ省エネ基礎技術
 - ②インバータ導入時の高調波対策
- (4)ポンプメーカー講師による省エネ技術教育
- (5)インバータ化改造工事見積り依頼教育
- (6)インバータ省エネ自主活動・OJT教育成果の横展開
- (7)インバータ省エネOJT教育成果

三菱電機の全社省エネ小集団活動の紹介

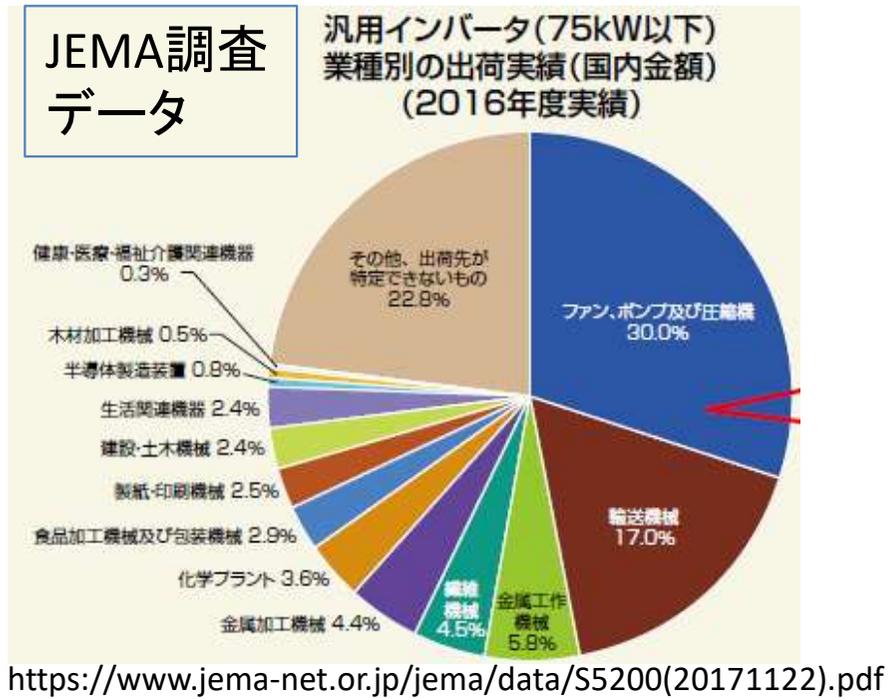
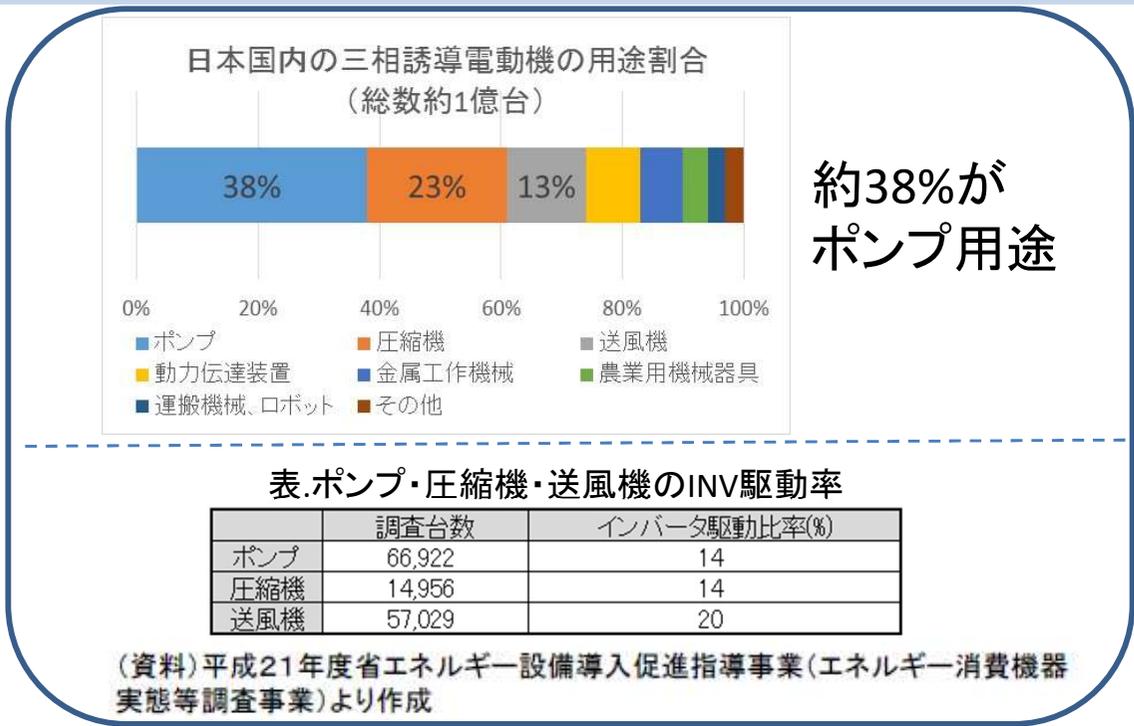
全社の省エネ担当者が協力し成果拡大を図る省エネ小集団活動



本発表では、2016年度のユーティリティ省エネSWGのインバータ省エネ活動について紹介する。インバータ省エネは効果的な省エネ技術であるものの、まだ社内でも改善ポテンシャルが散見される。その一因としてインバータ省エネの進め方の理解が浅いことが考えられる。本発表では、国内のインバータ普及状況と、その期待値シミュレーションに触れ、どのように社内でインバータ省エネ教育を実施し成果を得たか紹介する。

(1)ポンプのインバータ駆動率

日本国内のポンプのインバータ駆動率は14%程度



我が国の全消費電力量を9800億kWh/年と仮定※1し、その55%が三相誘導電動機の消費電力と仮定※2する。その約38%がポンプ動力(上図参照)と考えれば、 $9800\text{億kWh/年} \times 0.55 \times 0.38 = 2048\text{億kWh/年}$ が年間ポンプ消費電力量推定値となる。

※1 2016年度総合エネルギー統計

※2 総合資源エネルギー調査会三相誘導電動機判断基準小委員会配布資料

http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shou_energy_kijun/sansou_yudou/pdf/002_04_02.pdf

JEMA調査では、ポンプ単独での調査報告はないが、左記ポンプのINV駆動率14%という数字は妥当であり、過去数年間では大きな実装率の変化はないと考えられる。

ポンプのインバータ駆動率を14%→30%に増加させることで 約176億kWh/年程度の省エネ効果が期待できる

国交省の茶本(建築設備設計基準)に10-20%程度の余裕度推奨の記述あり。

④ 揚水用ポンプ揚程の算定 H_{PW} [m]

$$H_{PW} = K_2 \cdot (H_1 + H_2 + H_3 + H_4)$$

ここに、 K_2 : 余裕係数 (= 1.1~1.2)

全てのポンプが20%余裕度があると仮定し、インバータでその余裕度を周波数制御して適正化した場合を考える。

60Hz→48Hz 50Hz→40Hz

周波数の3乗比例で省エネ効果が得られ51.2%の消費電力となるが、シミュレーション簡素化のために、INV実装後は50%と仮定して計算する。

※定格運転中のポンプの吐出流量20%減をバルブで調整した場合、5-10%程度の消費電力が減る特性があるが、計算の簡素化のため、本試算では考慮しない。

ポンプのインバータ実装率が14%→30%に増加した場合の省エネ効果シミュレーション



① 2202.2億kWhの86%のポンプが消費電力100%で運転し、14%がINV実装済みでモータ定格の50%消費電力で運転していると想定。
2202.2億kWh → 2048億kWh (約154.2億kWh省エネ既達と推定)

② 2202.2億kWhの70%が消費電力100%で運転し、30%がINV実装済みで消費電力50%で運転を想定。
2048億kWh → 1871.8億kWh (176.2億kWh/年の省エネ期待有)

①インバータ化による省エネ効果が得られるケース

余裕度20%、1対1(ポンプ対負荷設備)供給であれば50%の省エネ可能

国交省の茶本にはポンプ揚程に10-20%程度の余裕度を待たせるように記述あり。

④ 揚水用ポンプ揚程の算定 H_{PW} [m]

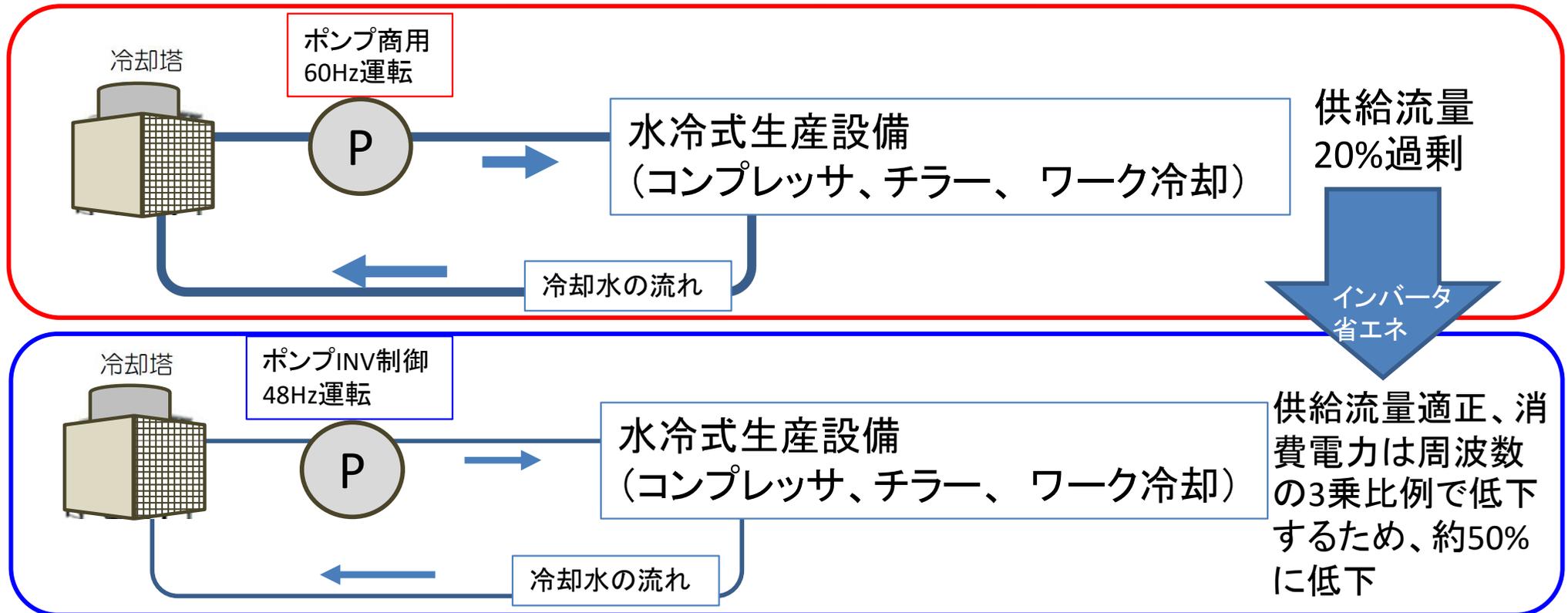
$$H_{PW} = K_2 \cdot (H_1 + H_2 + H_3 + H_4)$$

ここに、 K_2 : 余裕係数 (= 1.1~1.2)

$$L(\text{kW}) = \frac{0.163 \cdot Q \cdot H \cdot \gamma}{\eta_p}$$

揚程に20%の余裕度を持たせる。すなわち、モータ出力に20%余裕度を持たせることである。
 ポンプ用モータ出力(軸動力):L(kW)、比重: $\gamma(\text{kg/m}^3)$
 流量:Q(m^3/min)、全揚程:H(m)、ポンプ効率: η_p

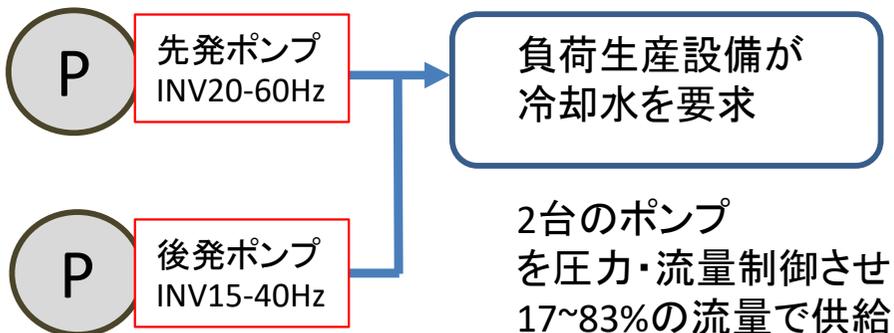
ポンプ導入時に20%程度大きなモータを選定することになるが、
 実態は過剰供給であることに気づかずに運転をしている例が散見される。
 インバータ化させ適正流量供給によるエネルギー使用の合理化検討が必要。



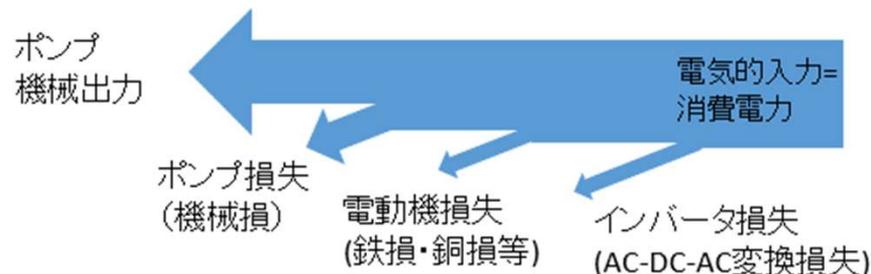
②インバータ化による省エネ効果が得られないケース

インバータで100%負荷運転するとインバータ損失分の増エネ発生

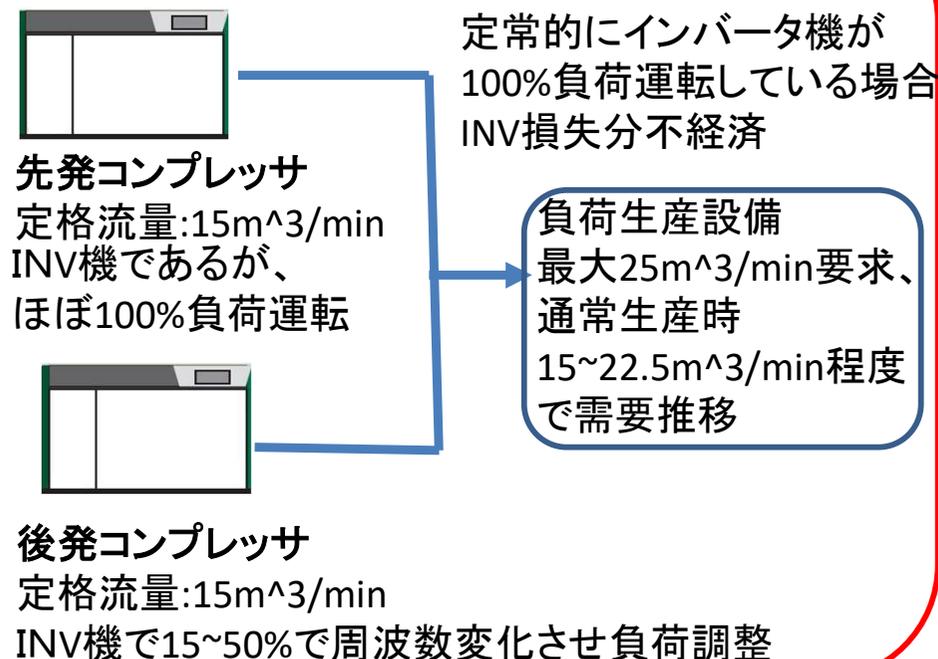
複数ポンプで生産冷却水を供給する例



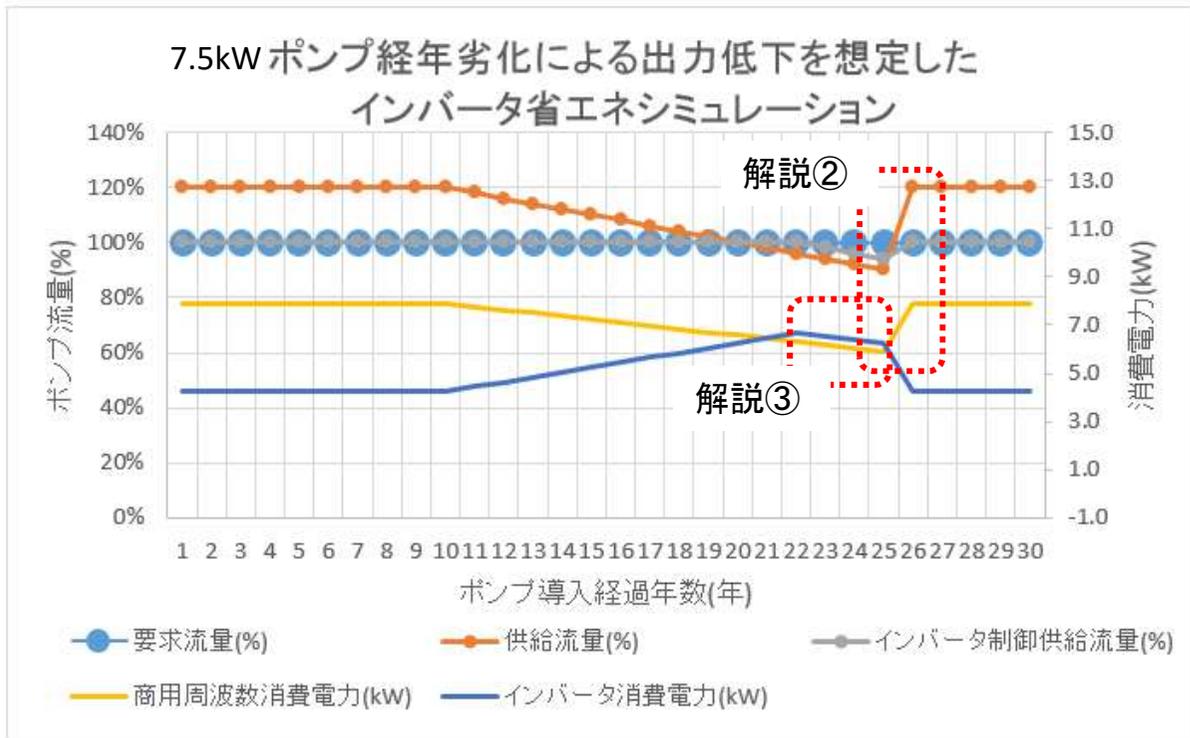
商用周波数(50/60Hz)で定常的に運転しているインバータを見つけたら特定周波数商用運転機能でINV損失を回避することで省エネとなる。



エアコンプレッサ台数制御の例



設備劣化と省エネ効果の経時変化を理解する

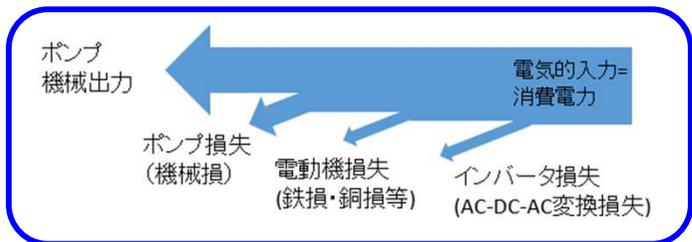


【ポンプ導入時に余裕度設計が必要な理由】

- ①経年配管腐食等による抵抗・熱交換効率の悪化
(本シミュレーションでは配管抵抗劣化等はないものとする)
- ②経年劣化によるインペラカットのようなポンプ羽根減肉によるポンプ出力低下
- ③想定外の設計ミス防止
(ポンプ納入後に能力不足で生産開始できないようなことを回避する)

【シミュレーションのポイント解説】

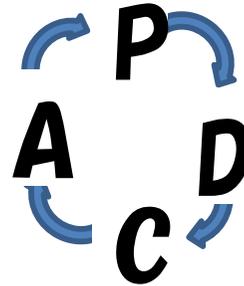
- ①必ずしも本シミュレーションのようにポンプ出力が低下するとは限らない。水質や運転環境に依存。
- ②ポンプ更新時前後でデータをとると増エネしたように見える場合がある。
- ③INV60Hz運転時には商用運転に切り替えないとINV損失分増エネとなる。



ポンプ出力が低下すれば、ほぼ
相似で電動機消費電力も低下する

(1)経緯

確実な省エネ成果を出すために省エネOJT教育を計画



Plan
 ~2014年度
 社内担当者による相互省エネ診断や社内省エネ事例紹介がマンネリ化
 社外の事例を取込みや外部講師招聘の検討開始

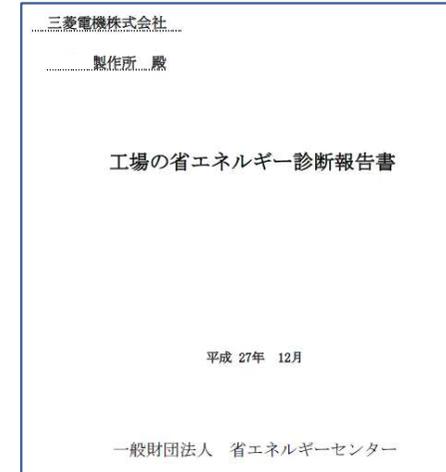
Do
 2015年度
 省エネルギーセンターの省エネ診断実行
 (社内省エネ担当者が参加し講師の診断スキルを学ぶ)

Check①
 2015.12 診断報告会

Check②
 2016.3 社内成果報告会
 多忙、投資回収が遅い等の理由で、具体的な省エネ計画立案が報告されず...

Check③
 ホンネの理由を探る一歩踏み込んだ調査を実施
 ・多忙...->力量不足で改善の進め方がわからない??
 ・投資回収が遅い...->過剰な制御仕様、高い見積作成先を選択

Action
 省エネ成果を妨げる問題解決策として省エネOJT教育を計画

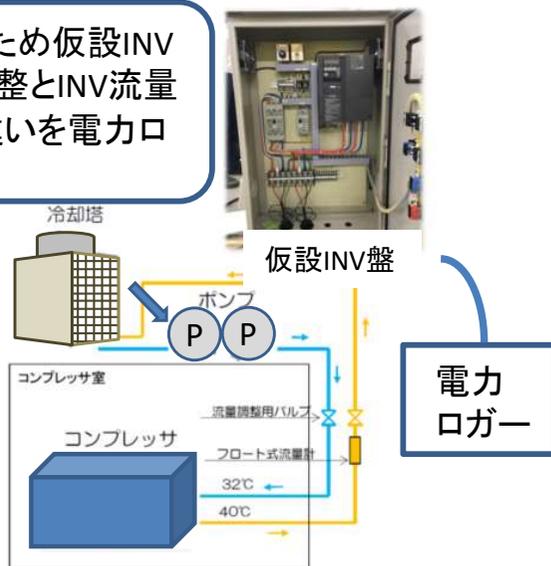


インバータ化、コンプレッサ、蒸気・熱等の省エネ課題を抽出

Re-Plan
 ポンプ省エネOJT ->2016上期
 蒸気・熱省エネOJT ->2016下期
 コンプレッサ省エネOJT->2017年度

インバータ省エネの本質を体験し理解する省エネOJT教育

INV省エネ効果体感のため仮設INV盤設置、バルブ流量調整とINV流量調整の省エネ効果の違いを電力ロガーの数値で体感



ポンプメーカー講師による
ポンプINV化省エネ勉強会



社内INV技術部門講師による
INV省エネ勉強会



※画像資料は2016年度に社内で実施した省エネルギーセンター一般教育資料から抜粋引用

	16/4	16/5	16/6	16/7	16/8	16/9	16/10	16/11	16/12	17/1	17/2	17/3
省エネWGメンバー	省エネ分科会WGキックオフ、モデル場所決定、目標設定	ポンプINV省エネ打合	講師打合	SWG① AM:診断・PM:勉強会	自主活動	SWG② AM報告会・PM見積情報交換	熱省エネモデル場所打合	SWG③ 熱省エネOffIT	SWG④ モデル場所診断	SWG⑤ AM診断報告会・PM見積情報交換		省エネ分科会WG成果発表会
運営スタッフ	活動計画	各場所巡回支援、WG運営、セミナー参加等を通じた技術調査情報収集、社内外WG支援講師のスカウト、次年度活動テーマ検討										

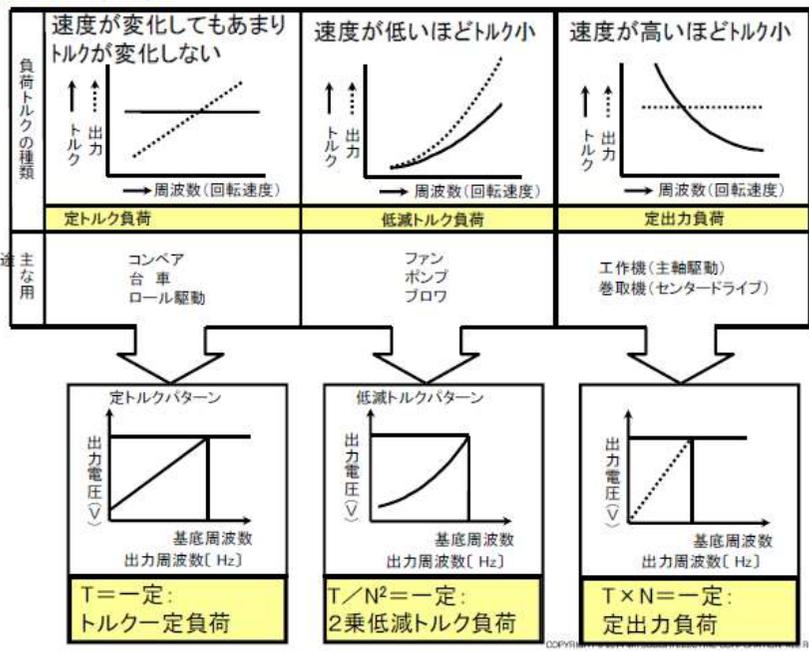
●(大):メンバー
●(小):運営スタッフ

ポンプを中心に一般的なインバータ省エネ技術を勉強



ファン・ポンプのインバータ省エネは
回転速度の3乗に比例するので省エネ効果大ですよ！

● 負荷の種類



● モータ出力

モータ出力は、負荷トルクと回転速度の積に比例します。

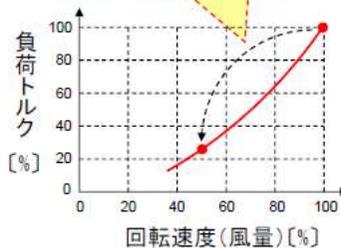
$$\text{モータ出力 } P [\text{kW}] = \frac{\text{負荷トルク } T [\text{N}\cdot\text{m}] \times \text{モータ回転速度 } N [\text{r}/\text{min}]}{9550 \times \eta}$$

η : 機械効率

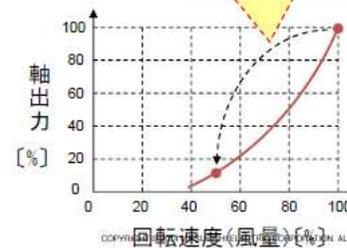
ファン・ポンプ(低減トルク負荷特性)の場合

負荷トルク・・・回転速度(風量)の2乗に比例 $T \propto N^2$
軸出力・・・回転速度(風量)の3乗に比例 $P \propto N^3$

回転速度を1/2とすると
負荷トルクは1/4

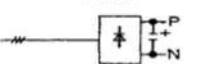
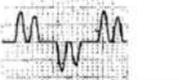
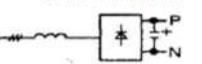
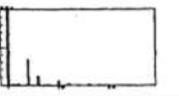
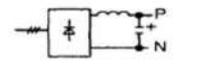
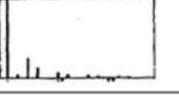
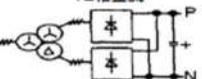
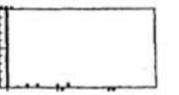
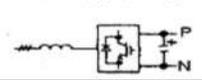
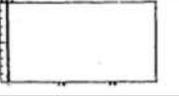


回転速度を1/2とすると
軸出力は1/8になり、
大幅な省エネ効果が
期待できます。

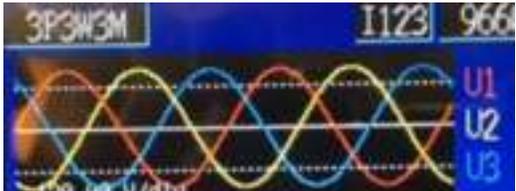
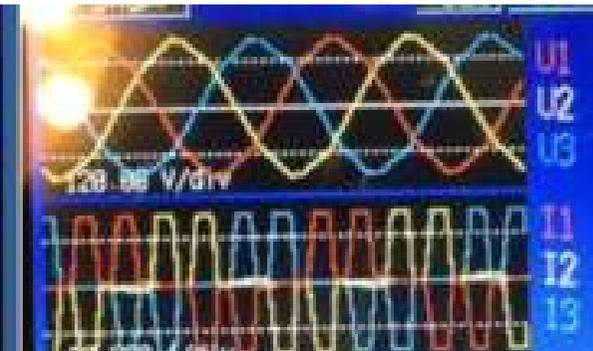
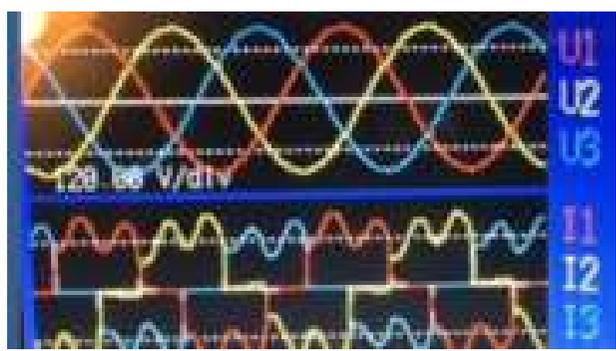


インバータ普及の上で欠かせない高調波対策技術を体感教育

高調波対策事例

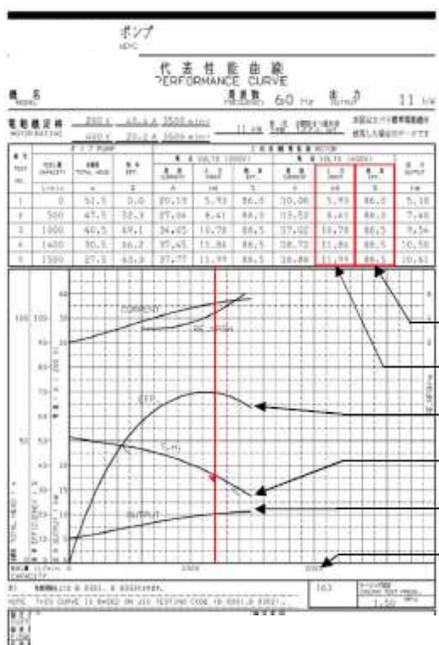
回路方式	入力電流波形	入力電流スペクトラム	高調波含有率
未対策 		 高調波次数	88%
交流リアクトル挿入 			38%
直流リアクトル挿入 			33%
12相整流 			12%
PWM制御コンバータ 			3%

勉強会で高調波対策の質問多く、別機会にACL/DCLの高調波抑制効果を実測体感し理解を深めた。

	インバータなし5.5kWポンプ	インバータあり・高調波対策なし	インバータあり・高調波対策DCL
電圧			
電流			
高調波含有率(%)/第5次高調波電流(A)		88%/12.2	33%/5

ポンプの特性を理解し、インバータ省エネの進め方を習得

ポンプ特性の理解



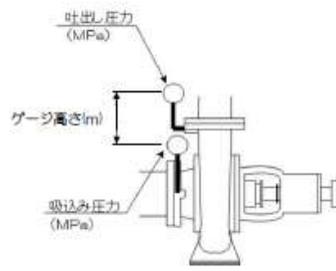
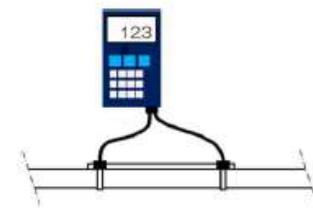
モータ効率
入力（消費電力）
ポンプ効率
全揚程
出力
吐出量

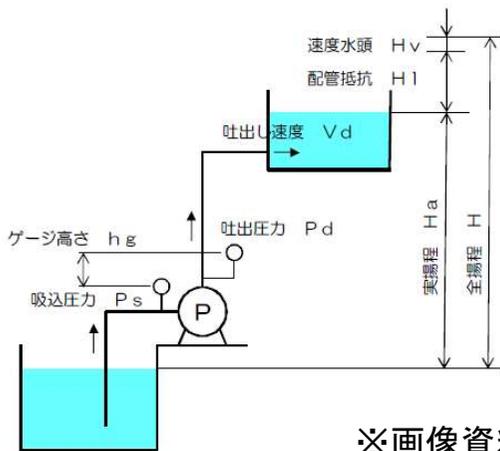


バルブ流量調整よりも、インバータで流量調整する方が各段に省エネですよ！
実際に現場に出て確認してみましょう！

工場現場ポンプの各種データどり

計測データと計測方法

圧力	電力	流量
<p>ポンプの吸込み圧力、吐出し圧力を計測する。ポンプケーシングの圧力測定用孔に接続したゲージ取付用配管に圧力計を取付けて計測する。各々の圧力計の設置高さの差も測定する。</p>  <p>吐出し圧力 (MPa) ゲージ高さ (m) 吸込み圧力 (MPa)</p>	<p>動力室内配線にクランプ式電力計を取付けて計測する。電流値から推測する方法は力率の影響を受けるため電力計で計測する。使用する電力計 日置電機株式会社製 名称: クランプオンパワーロガー 型式: PW3360</p> 	<p>ポータブル型超音波流量計を配管に設置して計測する。測定部の上流、下流に各々配管径の10倍および5倍の長さがある直管部に設置する。使用する超音波流量計 東京計器株式会社製 名称: ポータブル超音波流量計 型式: UFP-10</p> 



見積り依頼方法を学び、各工場に戻り電気工事業者へ見積り依頼の実践

- ・工事業者から見積りを取ったが
○○のオプションは必要なのか？
- ・改造見積り依頼の進め方がよくわからない。
- ・改造工事価格の妥当性がわからない



既設ポンプ・ファン設備のインバータ工事見積り依頼の進め方を教育。



見積りを共有し、工事価格の妥当性の参考に

目次

- ▶ 1. インバータ省エネ工事に必要な電気機器の解説 P.2 - P.7
- ▶ 2. 見積金額の決め方 P.8 - P.10
- ▶ 3. 実際の仕様書と見積書 P.11 - P.16
- ▶ 4. 工事費を安くするには P.17 - P.26
- ▶ 5. 仕様書【案】 P.27 - P.29
- ▶ 6. インバータ実装率 P.30
- ▶ 7. 参考資料 P.31 - P.33

4. 工事費を安くするには

- ▶ 工事業者の仕事範囲を極力小さく

設計

~~現地調査~~
~~安全率・余裕率の設定~~
~~設計図・施工図作成~~

・実験しているので設計不要
・設計図や施工図も不要

購入

~~機器選定・発注購入~~
~~制御盤等製作~~

・インバータを支給する

施工

~~現場監督の選任~~
~~入構者教育・作業員名簿~~ 安全指示書等作成提出
~~安全管理・施工~~ ~~試運転調整~~

・常駐の電気工事会社に依頼

・ポンプが回ればOKとする

保証

~~試運転成績書作成・提出~~
~~完成図書作成・提出~~

・成績書や完成図書も不要

5. 仕様書【案】

▶ 仕様書解説①

既存のポンプと電動機の情報

購入するインバータの情報
メーカーと型式を指定する

・インバータが既設盤に収まらない場合に具体的に指示する
・制御を追加する場合は内容を指示する

品名	冷却水ポンプインバータ接続工事		
見積提出期限	2016.09.30		
既存ポンプ	用途	冷却水用	
	設置場所	○○○工場	○○○棟
	電動機定格出力	7.5 kW	
	電源電圧	200 V	
インバータ	電源周波数	<input checked="" type="checkbox"/> 50Hz	<input type="checkbox"/> 60Hz
	台数	2台	
	メーカー	三菱電機株式会社	
収納盤/制御	型名	FR-F820-7.5-1	
	高調波対策	<input checked="" type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 要
	ノイズ対策	<input checked="" type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 要
	設置場所	○○○工場	○○○棟 機械室
既設盤に収まる	屋内/屋外	<input checked="" type="checkbox"/> 屋内	<input type="checkbox"/> 屋外
	盤増設	<input checked="" type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 要 既設盤に収納のこと
	制御方式	<input checked="" type="checkbox"/> 現状通り	<input type="checkbox"/> 要改造
設計図	<input checked="" type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 要	

参加者全員が成果報告、高い投資回収率で省エネ成果を達成

【省エネ改善効果(計画値)】

CO2排出量:125(t-CO2/年)削減

※当社基準0.487kg-CO2/kWhで計算

電気料金 :4.5(百万円/年)削減

※18.9円/kWhで計算

電力使用量削減率:67%

平均投資回収年:1.8年

・全社OJTにしたことで単一工場の省エネ成果を参加した9工場に展開し成果を約10倍に波及拡大できた。

ポンプインバータ化省エネ 検討一覧表

設備名	ポンプ能力	電圧	電流	回転数	全揚程	実圧力	実流量	省エネ効果	投資額	回収年
ポンプA	1000	200	10	1450	10	10	10	削減率20%	100万円	1.8年
ポンプB	1500	200	15	1450	15	15	15	削減率30%	150万円	1.8年
ポンプC	2000	200	20	1450	20	20	20	削減率40%	200万円	1.8年
ポンプD	2500	200	25	1450	25	25	25	削減率50%	250万円	1.8年
ポンプE	3000	200	30	1450	30	30	30	削減率60%	300万円	1.8年
ポンプF	3500	200	35	1450	35	35	35	削減率70%	350万円	1.8年
ポンプG	4000	200	40	1450	40	40	40	削減率80%	400万円	1.8年
ポンプH	4500	200	45	1450	45	45	45	削減率90%	450万円	1.8年
ポンプI	5000	200	50	1450	50	50	50	削減率95%	500万円	1.8年

【内容】

設備仕様, 改善効果,
見積仕様・金額、全揚程、実圧力、実流量
省エネ検討対象以外のポテンシャル調査

・ポンプ能力は負荷設備要求に対して20%~50%程度の余裕度があるものが大多数であることがわかった。

ご清聴ありがとうございました。

