

# 添付資料 6

講義資料

発電所の運用改善によるプラント効率改善

## ①複数台発電機の効率運用

## 複数台ディーゼル発電の効率運用

### 1. ディーゼル発電の効率運用

ディーゼル発電の効率運用方法には、様々な方法があるが、まず第一に目されるのが複数台発電機の経済負荷配分運用(EDC : Economic load Dispatching Control)である。

本セミナーではこの EDC 運用について解説し、EDC 運用に係るデータの取得から実際の運用までを行う。

### 2. EDC (Economic load Dispatching Control) 運用

電力需要は、主に各需要家のライフスタイルの影響を受け時々刻々変化する。変化のしかたは日単位で見た場合、休日、平日を分け、それぞれ時間的に似た推移を示すが、天候の変化によっても推移のしかたに影響を受ける。

このように需要が変化する中、各発電所出力帯域で、どの発電機をどのくらいの出力で運用させることが最も効率的な運用となるかを事前に検討し、検討結果をもとに、発電機の効率運用を行うことを EDC 運用という。

EDC 運用では、通常、先行して需給の予測を立て、発電機の起動・停止から各出力値まで事前に計画することが必要とされるが、ディーゼル発電機は、蒸気を使用して発電する火力発電機や原子力発電機等と違い、起動停止作業が容易なうえ、短時間での起動停止を可能とすること、加えて、負荷変動に対する出力追従が速いことから、需給予測を立てなくとも、都度最適な出力を算出することで EDC 運用を可能とする。

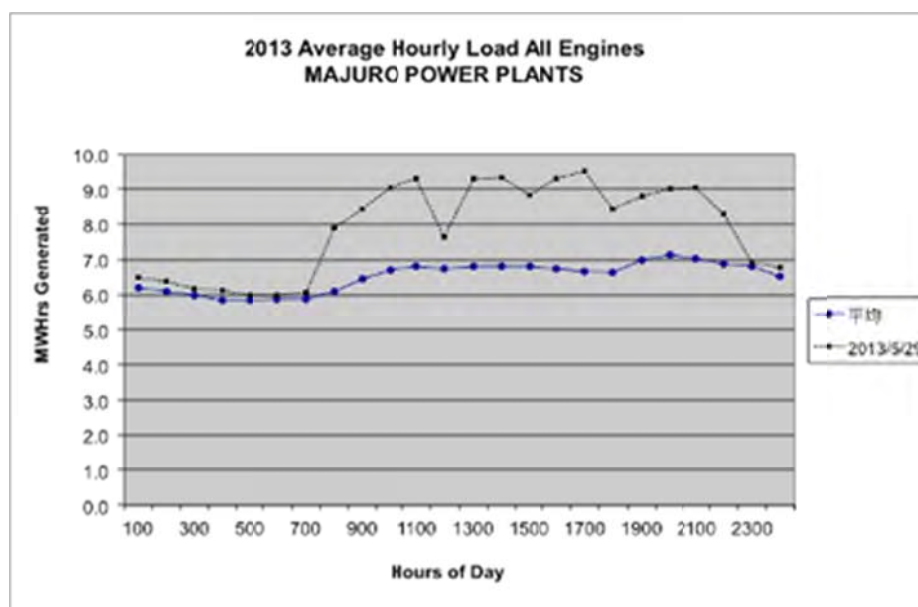


図 2-1 2013 年の日負荷曲線

### 3. 発電ユニットの燃料消費率特性

EDC 運用を行う上で、最も重要な要素となるのが各発電ユニットの燃料消費率特性である。燃料消費率特性とは、発電出力に対する燃料の消費量を示すもので、その単位を  $l/kWh$ 、 $Gal/kWh$ 、

g/kWh 等で表される。

図 3-1 に発電ユニットの燃料消費率特性カーブ（例）を示す。

燃料消費率特性カーブは発電ユニットによって、それぞれ異なるが、殆どの場合、図-00 のような 2 次曲線で示される。図から判断できるように、通常、発電ユニットは定格出力で最も燃料消費効率の良い運用状態となる。また、出力が下がるに連れて、燃料消費効率が悪くなる傾向となる。そのため、発電ユニットは可能な限り定格出力に近い出力値で運用することが燃料消費量削減に繋がる運用となる。

\* 発電ユニットによる燃料消費率特性カーブの違いを次項「(1)ディーゼルエンジンの性能(性能曲線)」、出力が下がるにつれて燃費が悪くなるメカニズムを次項 (2) に詳述する。

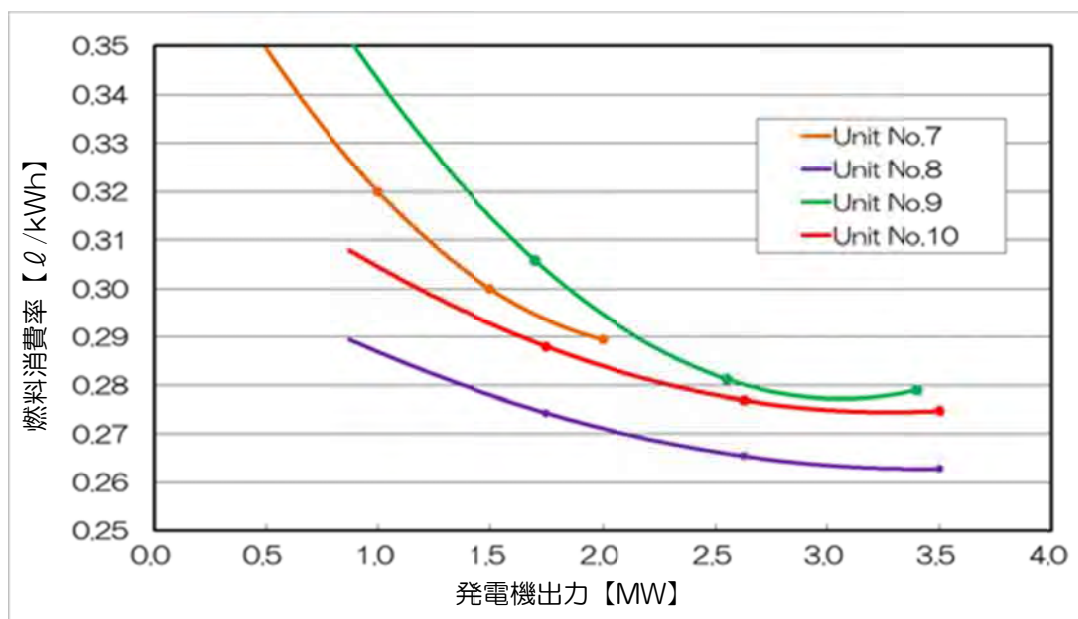


図 3-1 発電ユニットの燃料消費率特性カーブ（例）

### (1) ディーゼルエンジンの性能(性能曲線)

ディーゼルエンジンは、その用途により必要な出力、トルク等が変わるためエンジン毎に燃料消費率などの性能が異なる。また、たとえ、メーカー、発電機型式、製造年月日と同じ発電機でも、使用頻度やメンテナンス方法により性能が徐々に変わってくる。図 3-2 と図 3-3 に 18kW 程度の定格出力性能を持つディーゼルエンジン(新品)の性能曲線を示す。

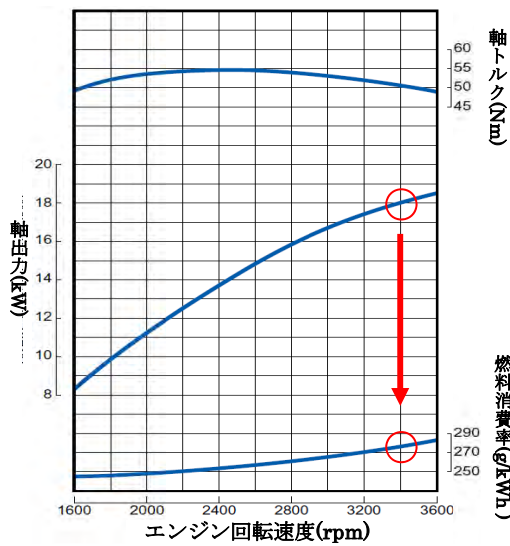


図 3-2 ディーゼルエンジン-I の性能曲線と外観①

(出典：(株)クボタ カタログ)

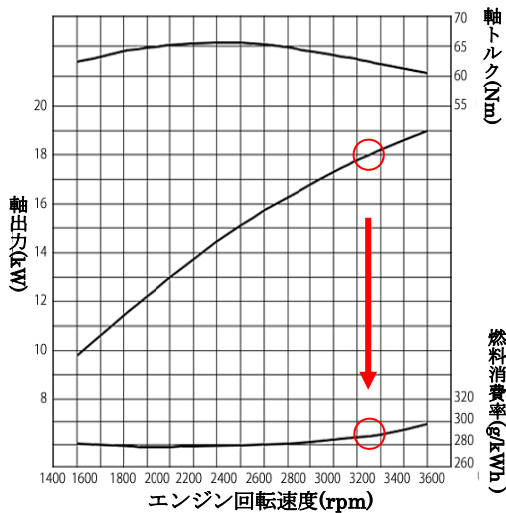


図 3-3 ディーゼルエンジン-II の性能曲線と外観②

(出典：株式会社 IHI シバウラ カタログ)

上図のグラフは、上から順に軸トルク(Nm)、軸出力(kW)、燃料消費率を表している。図 3-2 と図 3-3 のグラフに注目すると、同じ軸出力 18kW の時、燃料消費率はエンジン-I は約 280g/kWh、エンジン-II は約 290 g/kWh となっていて、同規模の発電機で同出力を得た場合でも、燃料消費量が異なることが分かる。

## (2) 低負荷帯での性能低下のメカニズム

一般に、ディーゼル発電機は定格出力付近で最もエネルギー効率がよく、低負荷帯では効率が悪くなっている。図 3-4 は沖縄県の離島で使用されている発電機 A(定格出力 100kW)と発電機 B(定格出力 350kW)の燃料消費率を示したものである。これを見ても分かる通り、2 台のデ

ディーゼル発電機は定格出力付近で効率が良く、低負荷になるにつれて効率が悪くなっている。  
ここでは、ディーゼル発電機を低負荷帯で使用すると燃料消費率の増加等、性能低下が起こるメカニズムについて解説する。

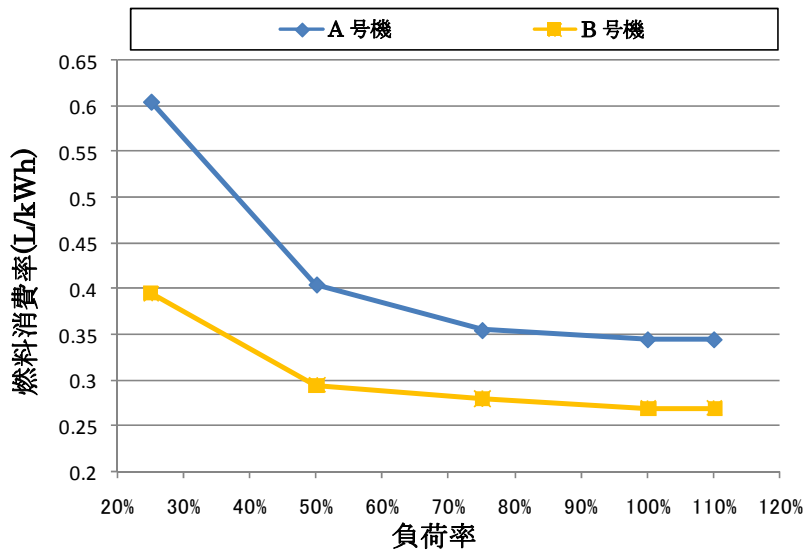


図 3-4 ディーゼル発電機における負荷率と燃料消費率

低負荷運転を行った場合、ディーゼルエンジンに発生する主な現象として不完全燃焼がある。不完全燃焼は、シリンダ内に供給される空気と燃料油が十分に燃焼しないことを意味し、燃焼油の一部が煤となり黒煙が出たり、燃料油がそのまま白煙(液状煙)として排出される。噴射された燃料が全て熱エネルギーに変換されなければ、必要な出力は得られず、余分に燃料を供給しなくてはならない。このため、燃料消費率が悪化することとなる。

不完全燃焼が発生する原因の一つは、吸気圧力の低下により、シリンダ内に供給される空気量が減少することである。これにより、圧縮圧力・圧縮温度ともに低下するので燃料が燃焼しにくくなる。

もう一つの原因は、燃料噴射ポンプから燃料弁に供給する燃焼油噴射圧力が図 5-2 に示すように低負荷帯では低下するためである。これにより、弁より噴射される燃料油粒の径が大きくなったり、燃料の拡散が不十分となり必要時間内に燃えきらずに不完全燃焼を起こす(図 3-5)。この対策として低負荷帯に適正な噴霧状態とした場合、逆に、高負荷帯では燃料油圧力が上昇し、燃料噴射ポンプ、燃料弁等の機械的耐力の限界を超過することとなる。

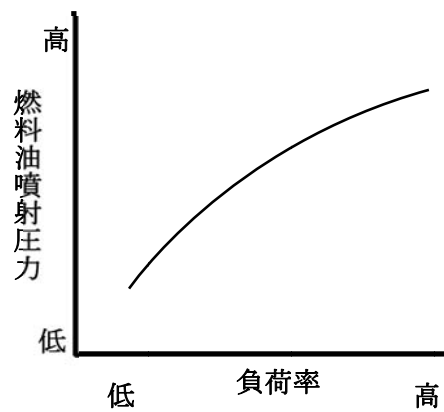


図 3-5 負荷率と燃料油噴射圧力

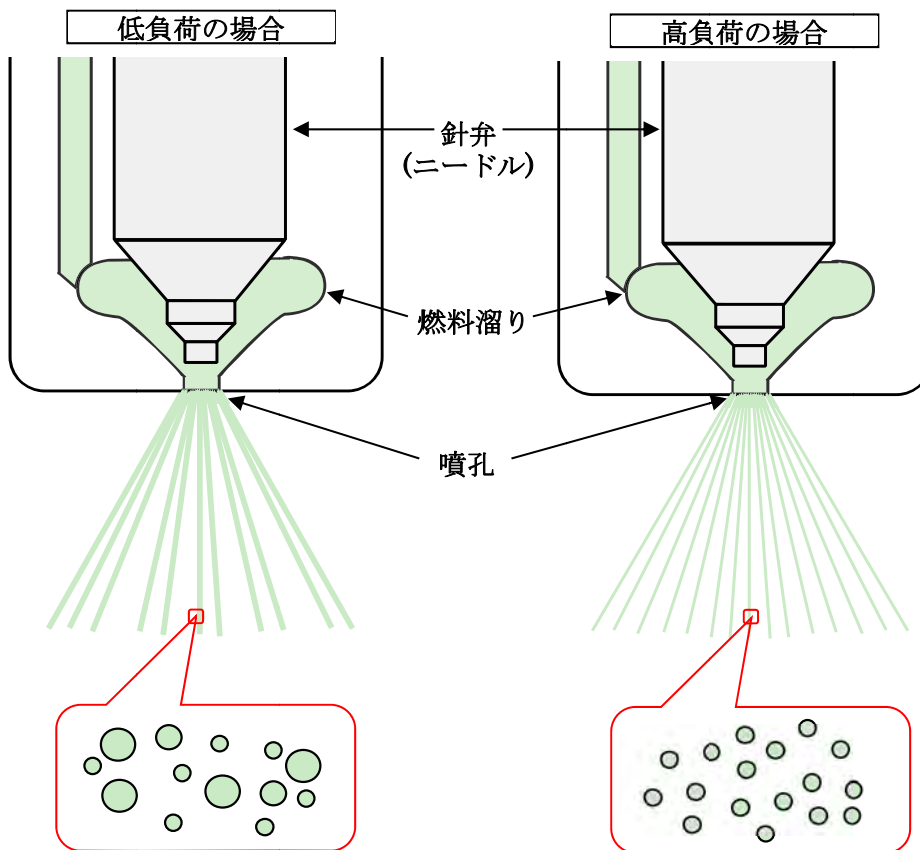


図 3-6 噴射圧力による燃料粒径差のイメージ

**ポイント**

- ディーゼル発電機のエネルギー効率は高く、40%以上も可能となっている。
- 発電機毎に性能(燃料消費率等)は異なる。
- 使用条件によっても性能(燃料消費率等)は異なってくる。

#### 4. 燃料消費率の測定

燃料消費率はその表示単位からも判るように、ある出力帯における 1kWh あたりの燃料消費量 (ℓ または Gal) を示すものである。よって、その測定を行うときは、ある出力帯において出力を一定に保ち、時間単位当たりの電力量と燃料消費量を計る必要がある。

以下にデータ測定例を示すが、例からも判るように、測定は 3 項目 (電力量、燃料流量[入り]、燃料流量[戻り])を行う必要があり、それぞれ測定開始・終了時刻を秒単位で合わせる必要が必須となる。測定時刻にズレがあると、データ精度が落ち、燃料消費率特性カーブの精度、ひいては EDC 運用時の燃料消費削減量の確度が下がることになる。

そのため、実測においては、可能な限り各測定項目ごとに担当を据えて、時間、値ともに正確に測定することが必要となる。

- データ測定 (例)

以下に 2 号機 (Majuro Power Plant No.1) を出力一定 (1.5MW) で測定した際のデータ例を示す。

時 刻	測定開始 09:00	測定終了 10:00	
電力量計指示値	a 40,769.55【MWh】	b 40,771.09【MWh】	電力量：a-b <b>1.54【MWh】</b>
燃料流量計指示値 (入り：タンク→機関)	c 1,916,717【Gal】	d 1,917,113【Gal】	d-c ①_396【Gal】
燃料流量計指示値* (戻り：機関→タンク)	e 1,498,428【Gal】	f 1,498,706【Gal】	f-e ②_278【Gal】
燃料消費量			①-② <b>118【Gal】</b>

$$\begin{aligned}
 \text{燃料消費率} &= \text{燃料消費量} / \text{電力量} \\
 &= 118 \text{【Gal】} / 1,540 \text{【kWh】} \\
 &= \underline{\underline{0.0766 \text{【Gal/kWh】}}}
 \end{aligned}$$

<ℓ/kWh とする場合>

$$\begin{aligned}
 &1 \text{【gal】} \text{ 当たり } 3.7856 \text{【ℓ】} \text{ であるから} \\
 &= 0.0766 \times 3.7856 \\
 &= \underline{\underline{0.2899 \text{【ℓ/kWh】}}}
 \end{aligned}$$

\*発電ユニットの燃料配管は通常「入り」と「戻り」があり、「入り」は燃料タンクから機関へ燃料を送油する配管、「戻り」は機関で燃焼されなかった燃料を、再びタンクへ戻すための配管である。

それぞれの配管に取り付けられている燃料流量計を、ここでは、「入り側の燃料流量計」、「戻り側の燃料流量計」という。



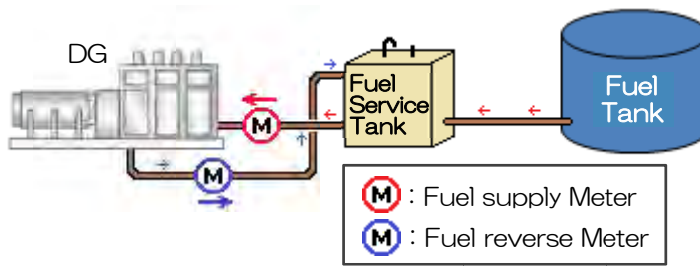


図 4-1 ディーゼル発電ユニット 燃料配管概略図

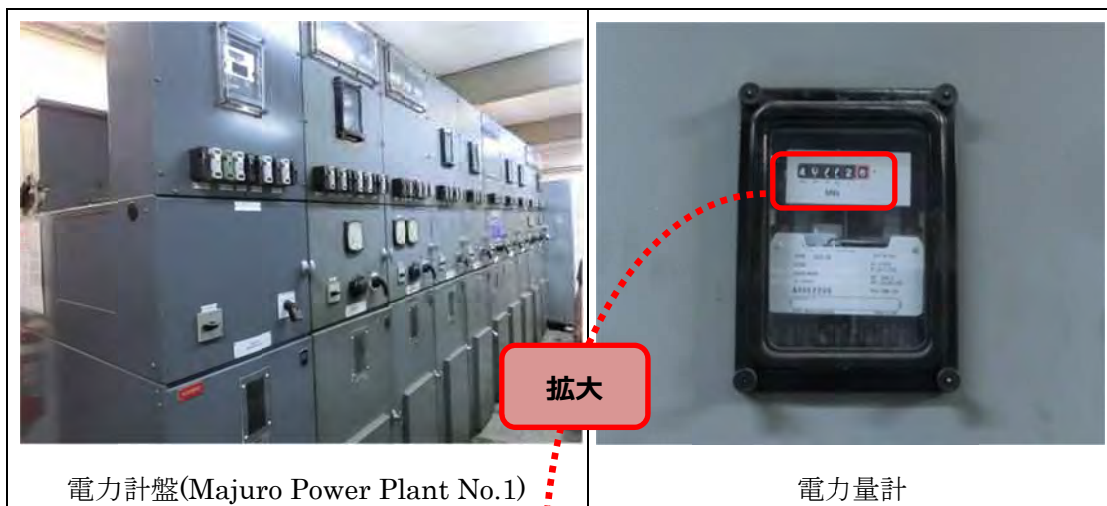
### (1) メーターの読み方

- 電力量計

ここでは、Majuro Power Plant No.1 に既設されている電力量計の読み方について説明する。

Majuro Power Plant No.1 には、1F 電気室に 1 号機～5 号機までの電力量計が既設されている。電力計は各ユニットの電力量計盤面に取り付けられており、全てアナログ式メーターとなっている。

以下にメーターの読み方を写真にて説明する。



最小単位のメモリが、5 と 6 の間の 2 つ目のメモリを示している。  
 最小単位の数値間のメモリは 5 つに区切られていることから 1メモリ当たりの読み値は 2 となる。よって最小単位の読みは「54」となる。

掲載写真の場合、**40770.54 [MWh]** となる。

- 燃料流量計

燃料流量計については、Majuro Power Plant No.1 と Majuro Power Plant No.2 で、タイプの異なるアナログ式流量計が既設されていることから、両タイプの読み方について写真で説明する。



燃料流量計(Majuro Power Plant No.1)



燃料流量計(Majuro Power Plant No.2)

### 燃料流量計 (Majuro Power Plant No.1)

1の位の値が「0」に固定されているが、この単位の数値は①の回転計で読む

1の位の読み値は、今回転計の示す値となる。ここでは、1と2の間を針が指していることから、読み値は「1」となる。

今回転計は0.1の位の値を示すものである。ここでは、針が5を指していることから、読み値は「5」となる。

掲載写真の場合、**1917491.5【Gal】**となる。

燃料流量計 (Majuro Power Plant No.2)



拡大



掲載写真の場合、**998811.1【Gal】**となる。

## 5. Microsoft Excell 用いた燃料消費率特性カーブ及び経済負荷配分表の作成

測定した燃料消費率値を用いて図 3-1 に示すような燃料消費率特性カーブを作成する。

### (1) 作成フロー

経済負荷配分表を作成する際の作成フローを以下に示す。

	フロー	解 説
1	■燃料消費率測定	<p>■各ディーゼル発電機において、25%、50%、75%、100%の各出力域における燃料消費率 (ℓ/kWh) を測定する。</p> <p>* 発電機のコンディションによる、出力制限が設けられているものは出力制限の範囲内 (上下限) で 25%、50%、75%、100%出力域における測定を行う。</p>
2	■燃料消費率曲線の作成	■測定した燃料消費率を基に燃料消費率曲線 (散布図) を作成する。
3	■近似曲線の作成	■多項式近似曲線(2 次)を作成し、数式を求める。
4	■各出力ごとの燃料消費率の算出	■算出した、近似曲線から各出力ごとの(例えば 200kW ごと)燃料消費率(L/kWh)を算出する。
5	■各出力ごとの燃料消費量の算出	■算出した、燃料消費率(L/kWh)から各出力ごとの(例えば 200kW ごと)燃料消費量(L/h)を算出する。

### (2) 経済負荷配分表の作成

#### 1) 燃料消費率 (第 1 次現地調査における測定 例)

2014 年 1 月 14 日～1/31 にかけて実施した第 1 次現地調査にて実施した、各発電機の燃料消費率 測定値を例として下表に示す。

<測定条件>

	Unit No.	定格出力 【kW】	出力上限 【kW】
Majuro Power Plant No.1	1 号機	3,275	1,500
	2 号機	3,275	1,500
	5 号機	3,485	2,200
Majuro Power Plant No.2	6 号機	6,400	6,000
	7 号機	6,400	5,000

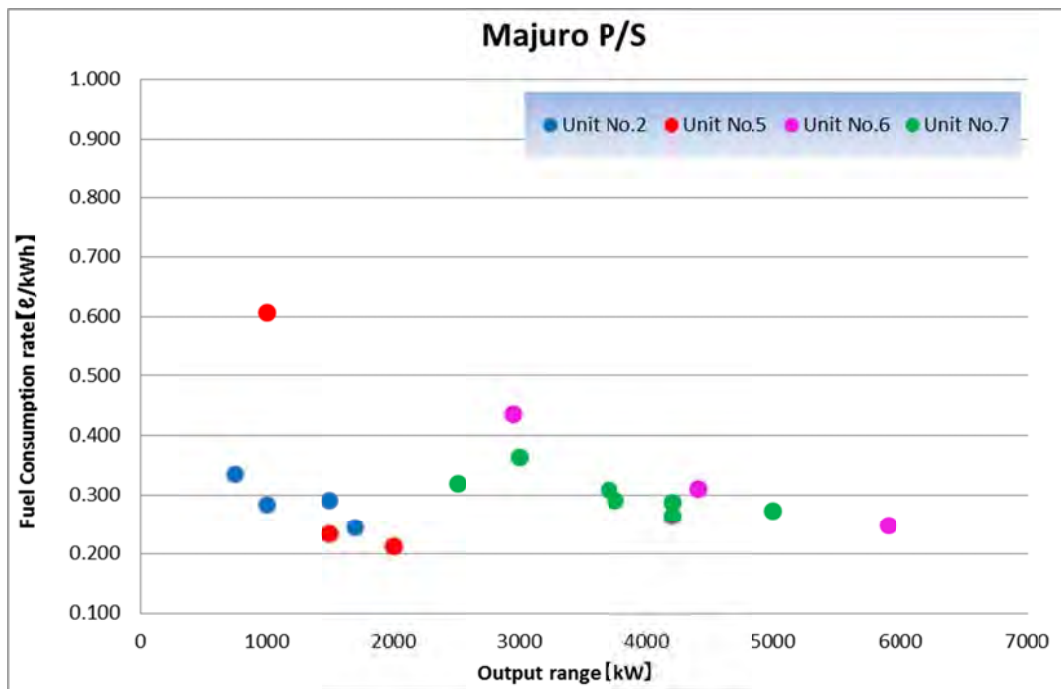
燃料消費率(ℓ/kWh)

出力域 (kW)		750	1,000	1,500	1,700	2,000	2,500	3,000	3,700	4,200	4,400	5,500	5,900
		Unit No.											
Power Plant No.1	1号機												
	2号機	0.335	0.284	0.29	0.245								
	5号機		0.607	0.234		0.212							
Power Plant No.2	6号機							0.435			0.309		0.247
	7号機						0.319	0.363	0.308	0.287		0.272	

\*1号機は、不具合のため測定を実施していない

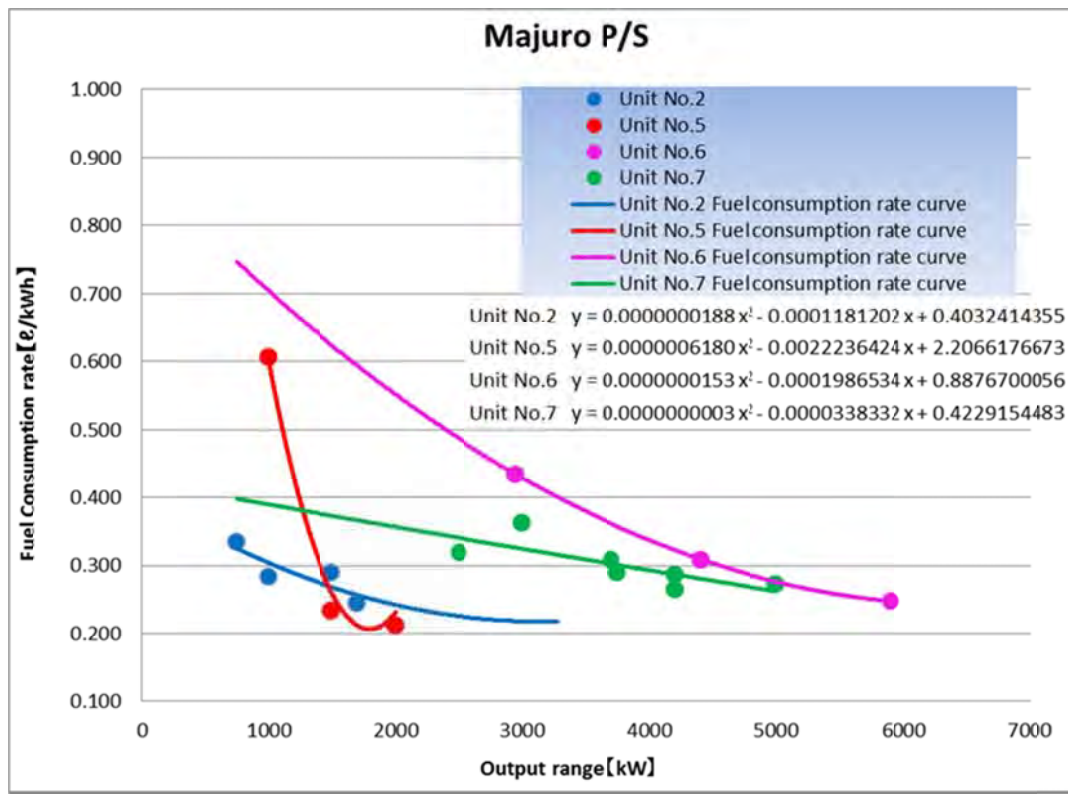
## 2) 燃料消費率曲線のプロット図

測定した燃料消費率を基に燃料消費率プロット図を作成



### 3) 近似曲線の作成

多項式近似曲線(2次)を作成し、数式を求める。



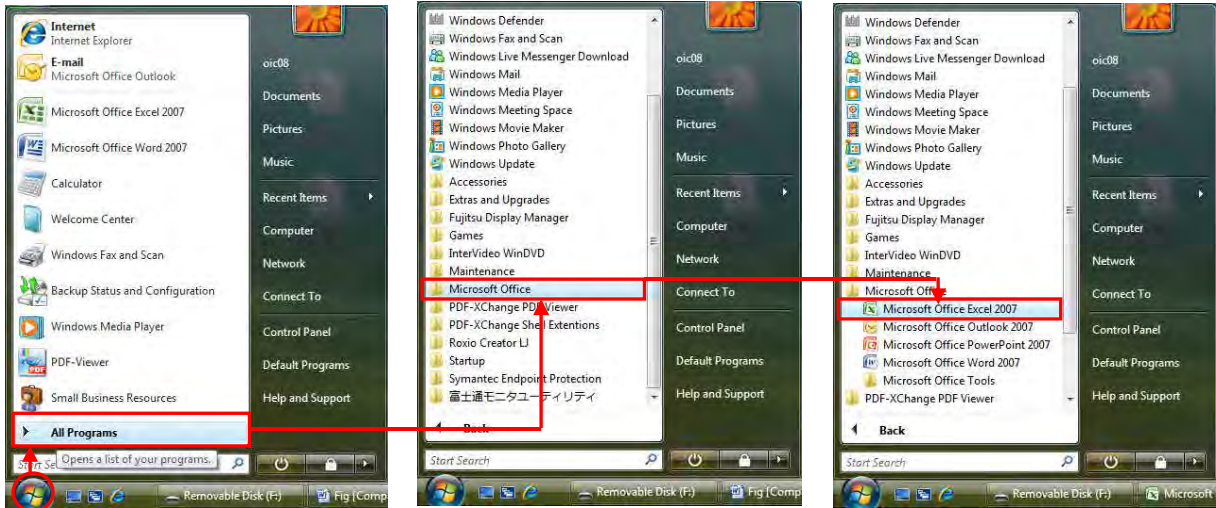
#### <数式>

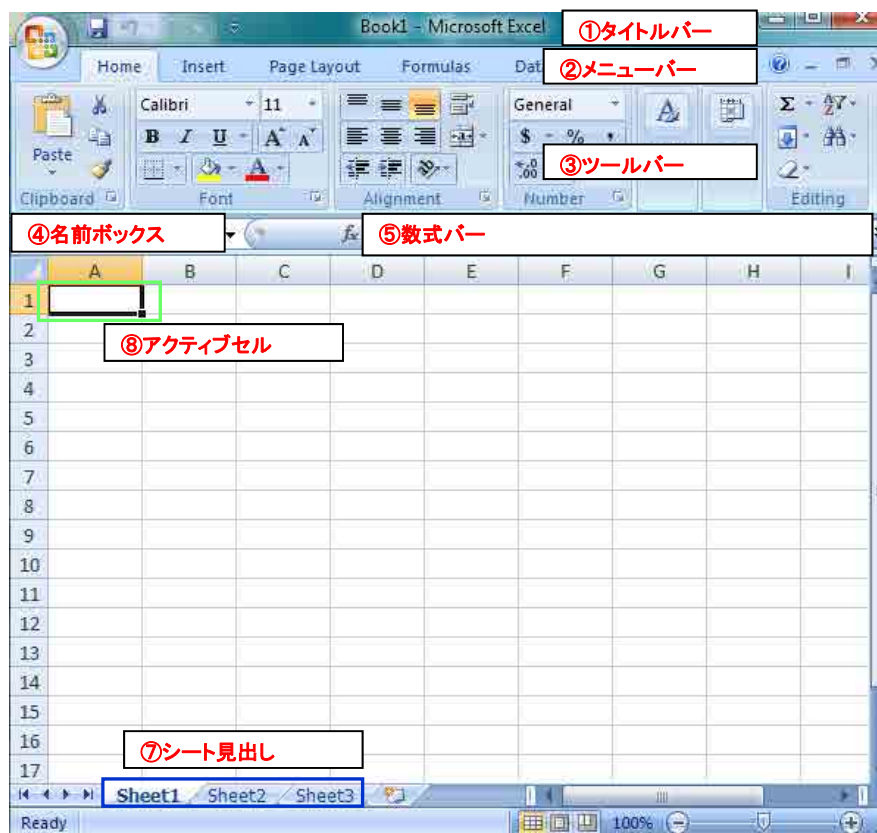
	Unit No.	数式
Majuro Power Plant No.1	2号機	$y = 0.0000000188x^2 - 0.000118x + 0.4032$
	5号機	$y = 0.0000006180x^2 - 0.002224x + 2.2061$
Majuro Power Plant No.2	6号機	$y = 0.0000000153x^2 - 0.000199x + 0.8876$
	7号機	$y = 0.0000000003x^2 - 0.000034x + 0.4229$

#### 4) 経済負荷配分表の作成手順 (Microsoft Office Excel 2007 を用いて)

##### エクセルの起動

- ① 【Windows】 ボタンをクリック
- ② 【All Programs】 → 【Microsoft Office】 → 【Microsoft Office Excel 2007】 をクリック





① タイトルバー

- プログラム名 (Microsoft Excel)とファイル名(Book1) が表示される。

② メニューバー

- 機能の全てが分類されて、この中に収められている。

③ ツールバー

- よく使われる機能がボタンで配置してある。

④ 名前ボックス

- アクティブセル(範囲)の名前が表示される。
- 通常はセル番地が表示されている。

⑤ 数式バー

- セルに入っている値や数式が表示される。ここで、数式等の編集が可能。

⑥ シート見出し

- 使用するシートを選択する。

⑦ アクティブセル

- 現在操作可能なセルのこと
- 黒い枠で強調して示される



## データの入力

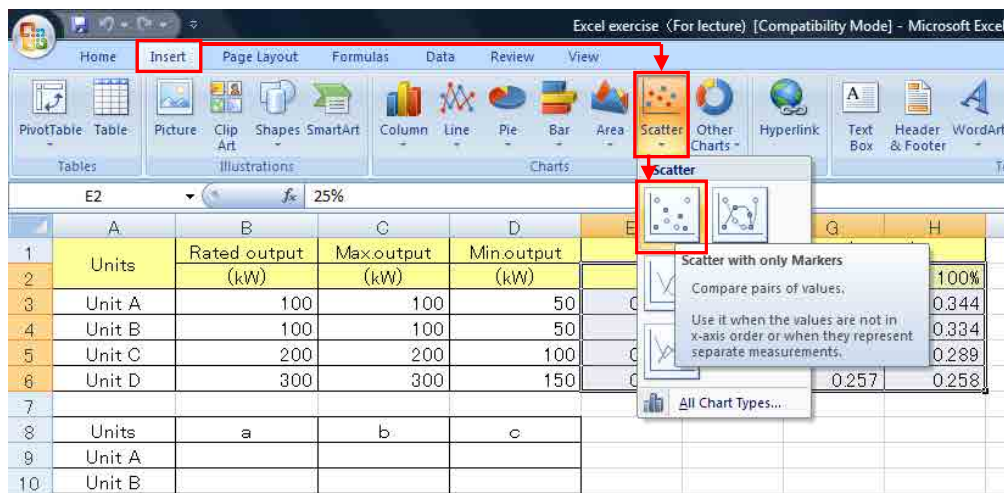
The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

Units	Rated output (kW)	Max.output (kW)	Min.output (kW)	Fuel consumption rate(L/kWh)			
Unit A	100	100	50	0.808	0.404	0.353	0.344
Unit B	100	100	50	0.55	0.396	0.353	0.334
Unit C	200	200	100	0.467	0.338	0.304	0.289
Unit D	300	300	150	0.357	0.279	0.257	0.258

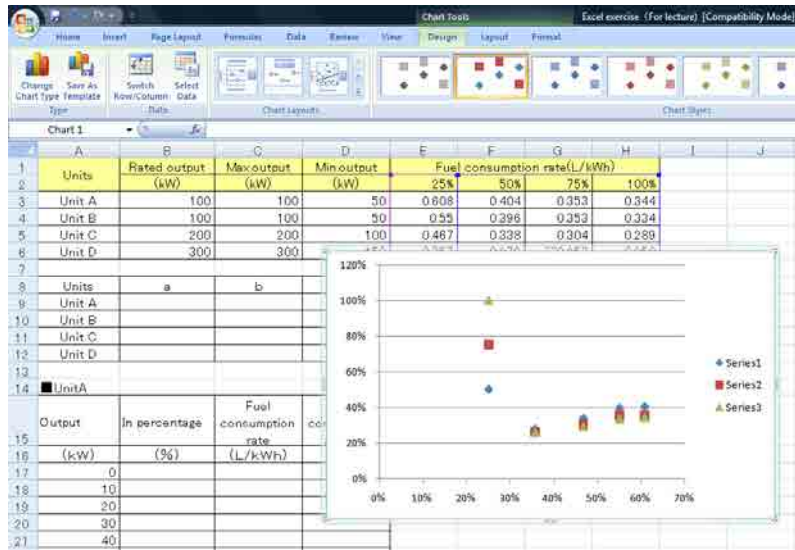
- キーボードよりディーゼル発電機及び燃料消費率に関する情報を入力する

## 散布図の作成

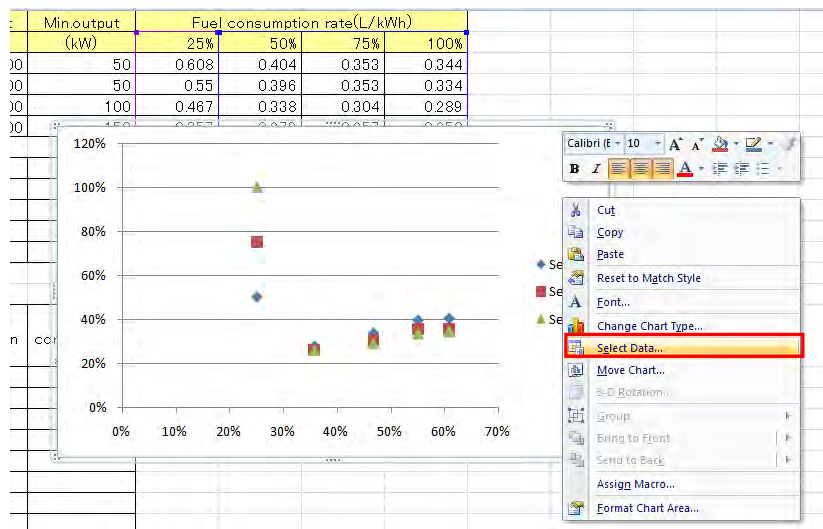
- ① グラフにするデータ範囲 E2:H6 セルを選択します。
- ② **【Insert】** → **【Scatter】** → **【Scatter with only Markers】** をクリック



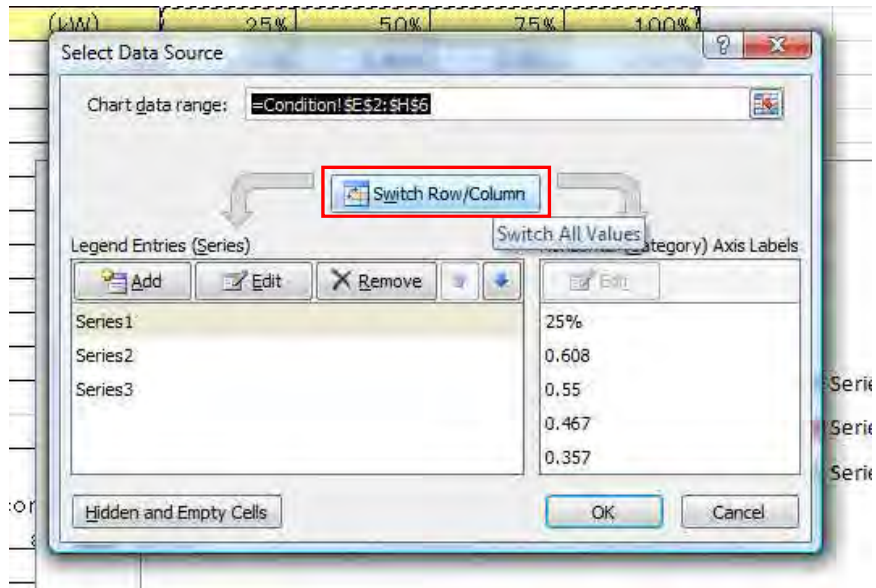
図は以下のように作成されます。



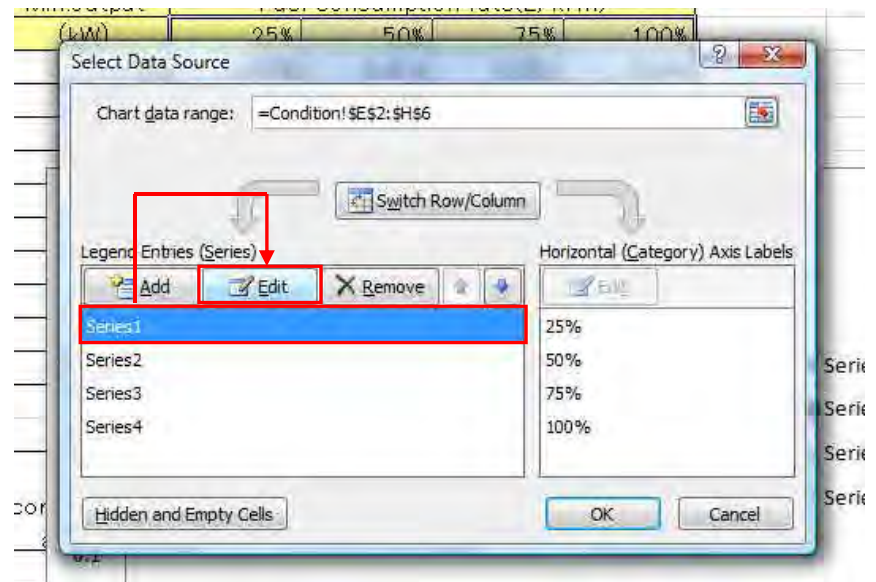
③ 右クリックし、【Select Data】をクリック



④ 【Switch Row/Column】 をクリックし、行と列を入れ替える



⑤ Series1 を選択し、【Edit】 をクリック



⑥ A3セル(Unit A)を選択し、Series name を変え、【OK】をクリック

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data table:

Units	Rated output (kW)	Max.output (kW)	Min.output (kW)	Fuel consumption rate(L/kWh)			
				25%	50%	75%	100%
Unit A	100	100	50	0.600	0.404	0.353	0.344
Unit B	100	100	50	0.55	0.396	0.353	0.334
Unit C	200	200	100	0.467	0.338	0.304	0.289
Unit D	300	300					

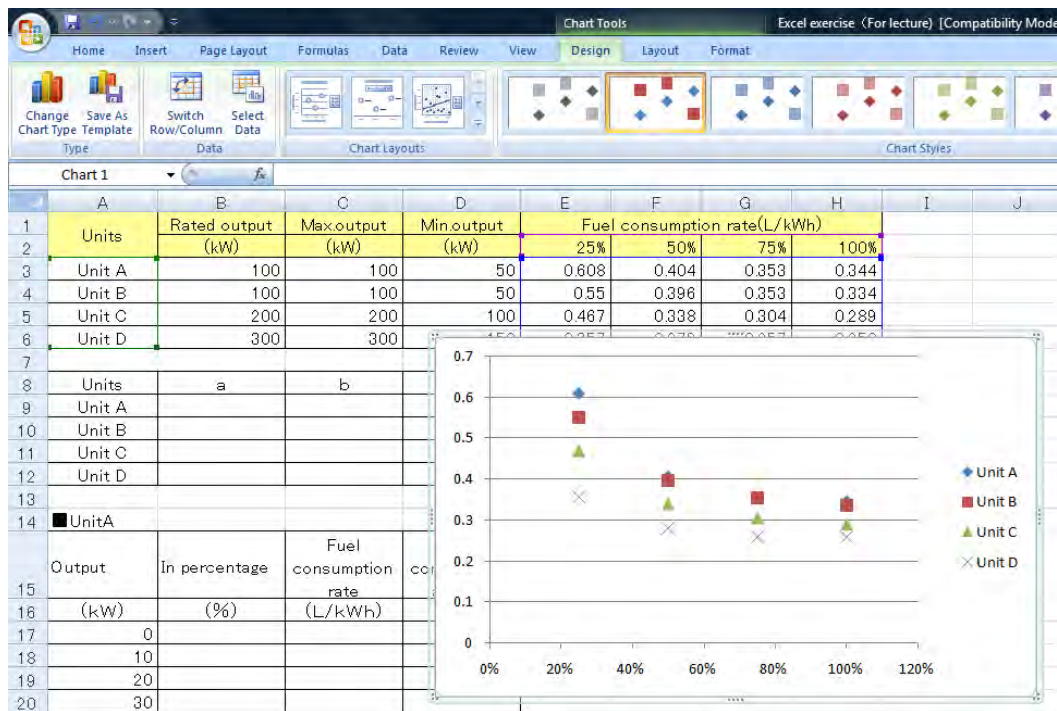
The 'Edit Series' dialog box is open for 'Unit A'. The fields are as follows:

- Series name: =Condition!\$A\$3
- Series X values: =Condition!\$E\$2:\$H\$2 = 25%, 50%, 75%, ...
- Series Y values: =Condition!\$E\$3:\$H\$3 = 0.608, 0.404, ...

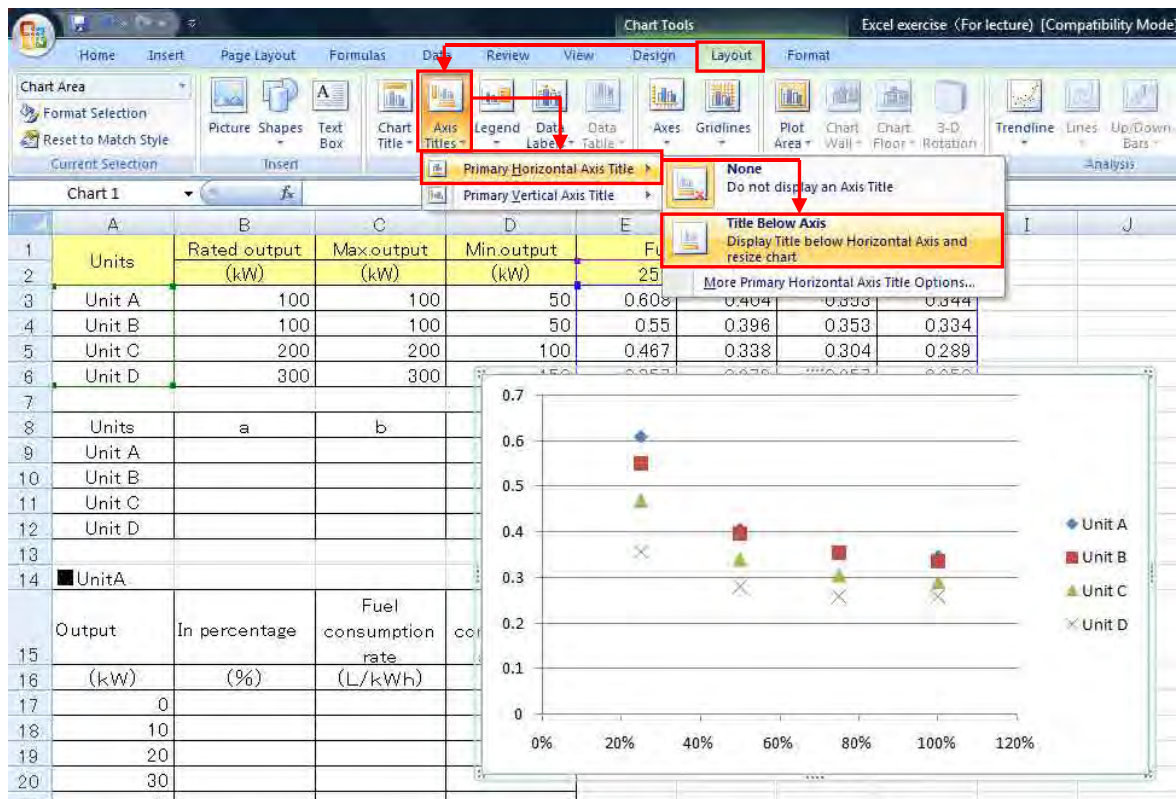
The 'OK' button in the dialog box is highlighted with a red box.

⑦ 同様に Series2~Series4 に関しても名前を変更する。全て変更し終わったら【OK】をクリック

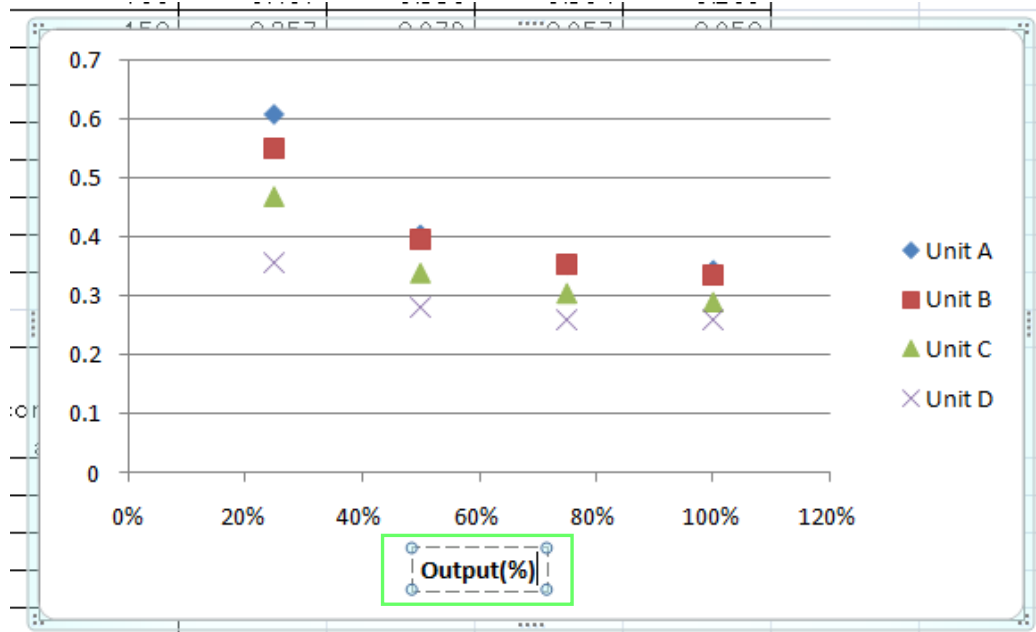
The screenshot shows the 'Select Data Source' dialog box. The 'Chart data range' is set to '=Condition!\$A\$2:\$A\$6,Condition!\$E\$2:\$H\$6'. The 'Legend Entries (Series)' list contains 'Unit A', 'Unit B', 'Unit C', and 'Unit D'. The 'Horizontal (Category) Axis Labels' list contains '25%', '50%', '75%', and '100%'. The 'OK' button is highlighted with a red box.



⑧ グラフをクリックし、【Layout】→【Axis Titles】→【Primary Horizontal Axis Title】→【Title Below Axis】をクリックし、横軸タイトルを追加する



⑨ 「Axis Title」を「Output(%)」に書き換える

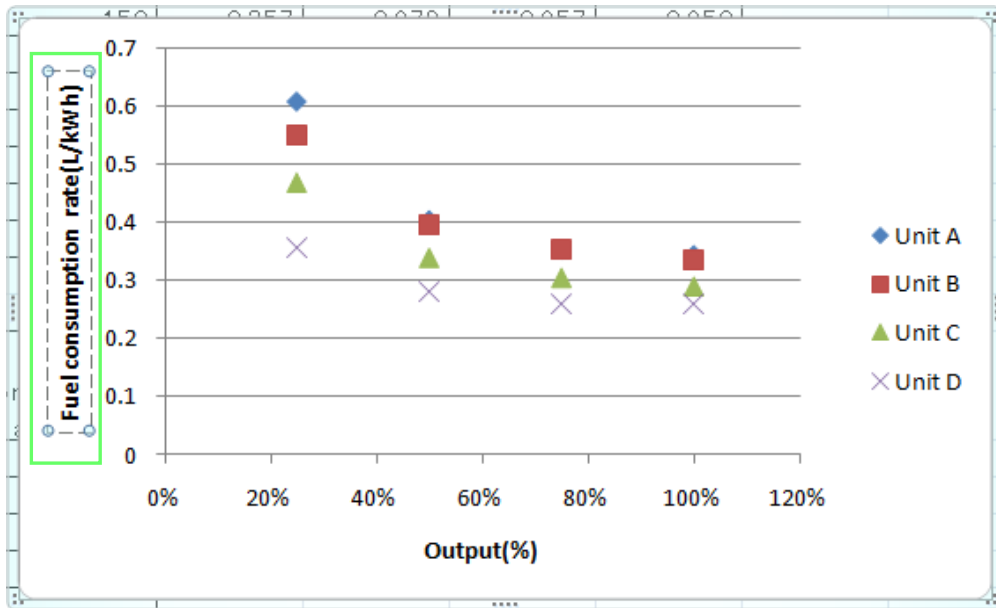


⑩ グラフをクリックし、【Layout】→【Axis Titles】→【Primary Vertical Axis Title】→【Rotated Title】をクリックし、縦軸タイトルを追加する

The screenshot shows the Excel interface with the 'Layout' ribbon active. The 'Axis Titles' dropdown menu is open, and the 'Rotated Title' option is selected. The data table in the background is as follows:

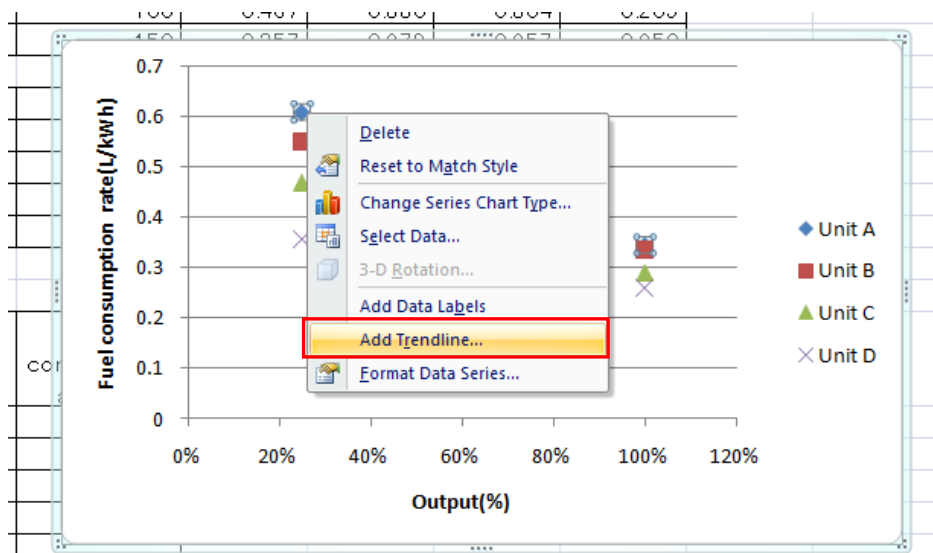
Units	Rated output (kW)	Max.output (kW)	Min.output (kW)	Fuel consumption rate (L/kWh)
Unit A	100	100	50	0.60
Unit B	100	100	50	0.55
Unit C	200	200	100	0.46
Unit D	300	300	300	0.36

⑪ 「Axis Title」を「Fuel consumption rate(L/kWh)」に書き換える



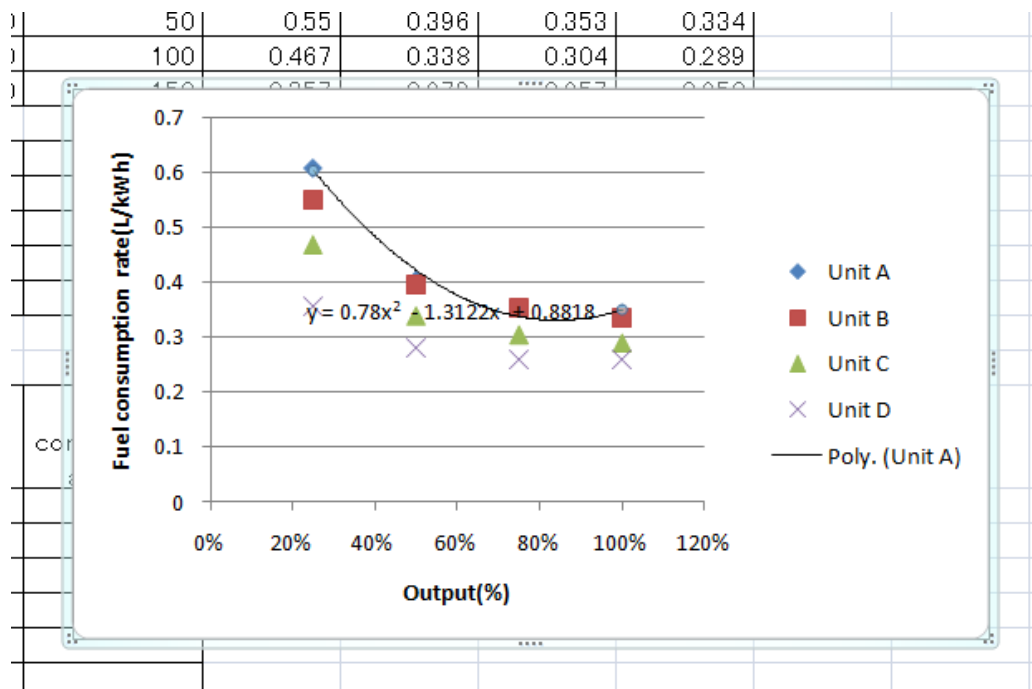
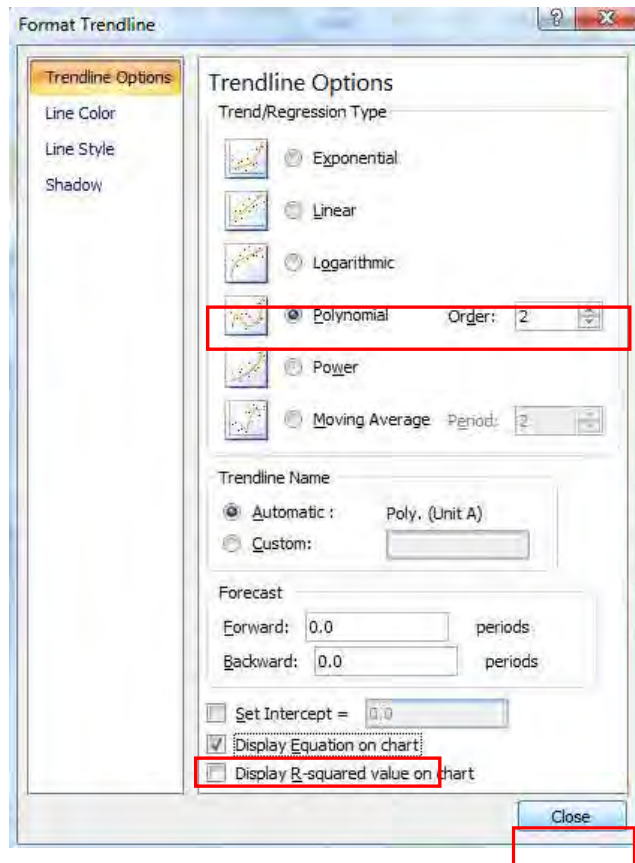
近似曲線の作成

① Unit A のマーカーを選択した後、右クリックし、【Add Trendline】をクリック



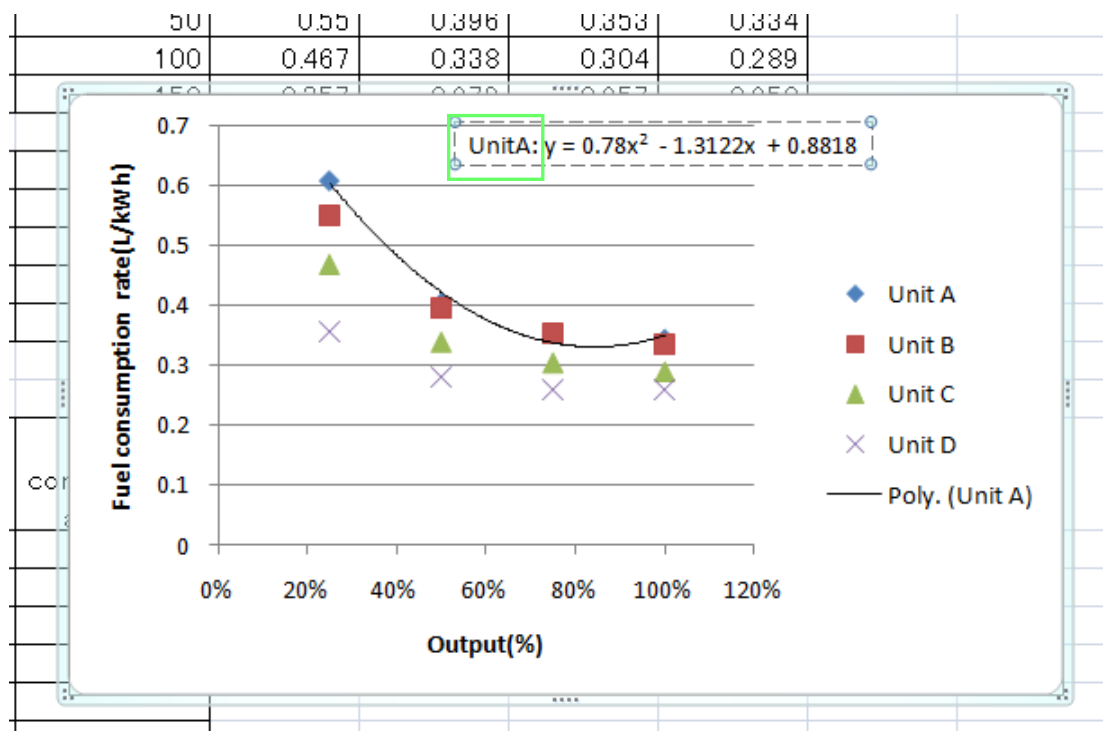
② 【Polynomial】を選択し、【Order】は2のままにしておく。

さらに【Display Equation chart】にチェックを入れ、【Close】をクリック

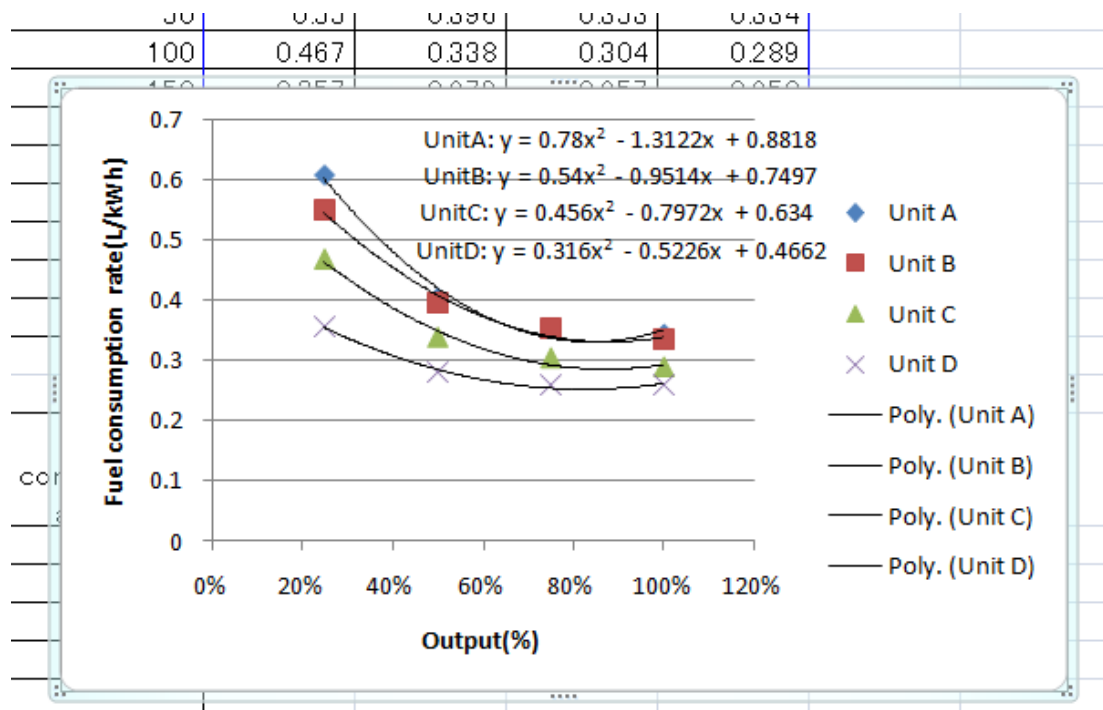




③ 数式を移動し、Unit 名を追加する。

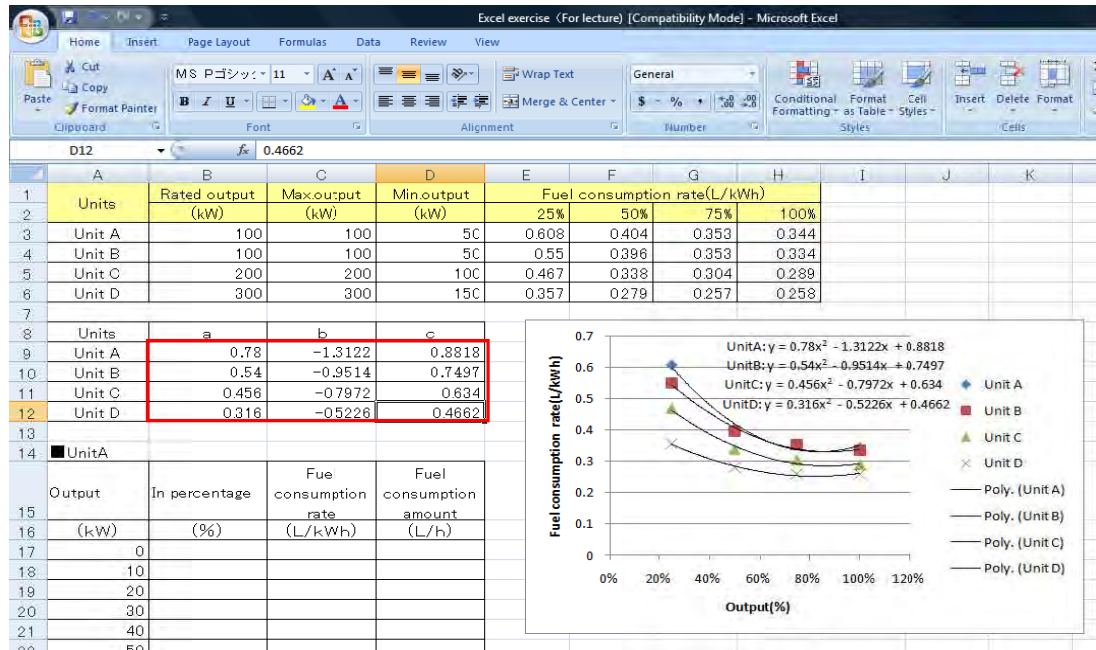


④ 同様に Unit B, Unit C, Unit D についても近似式を追加する



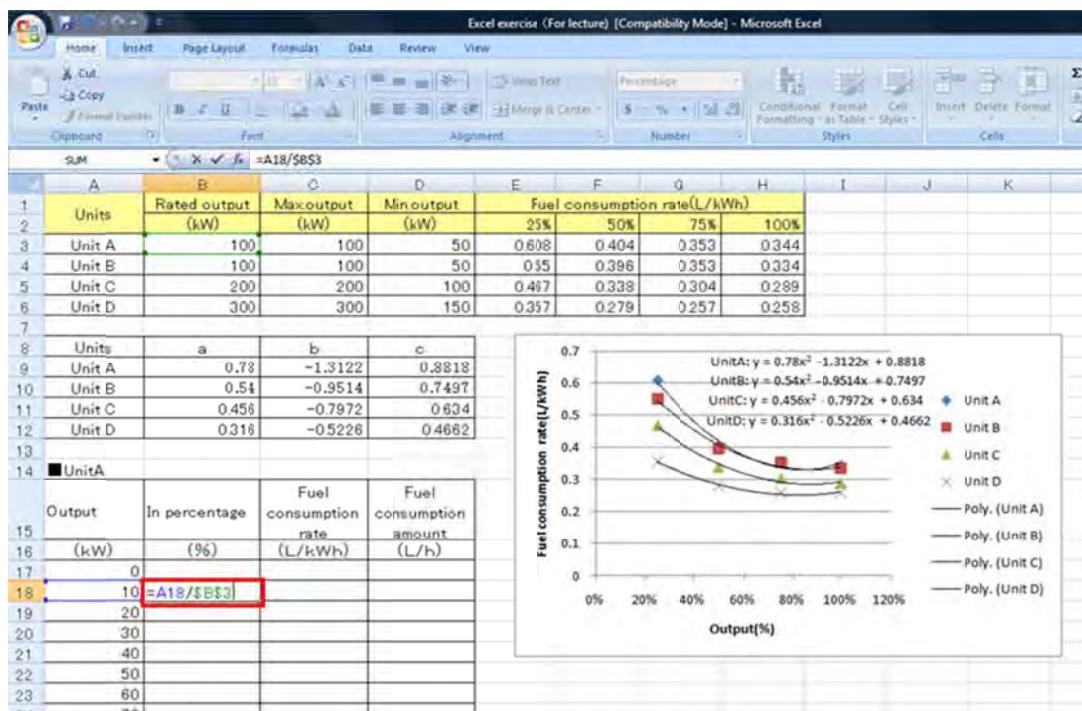
## 燃料消費量の算出

### ① 各近似式の係数を入力する

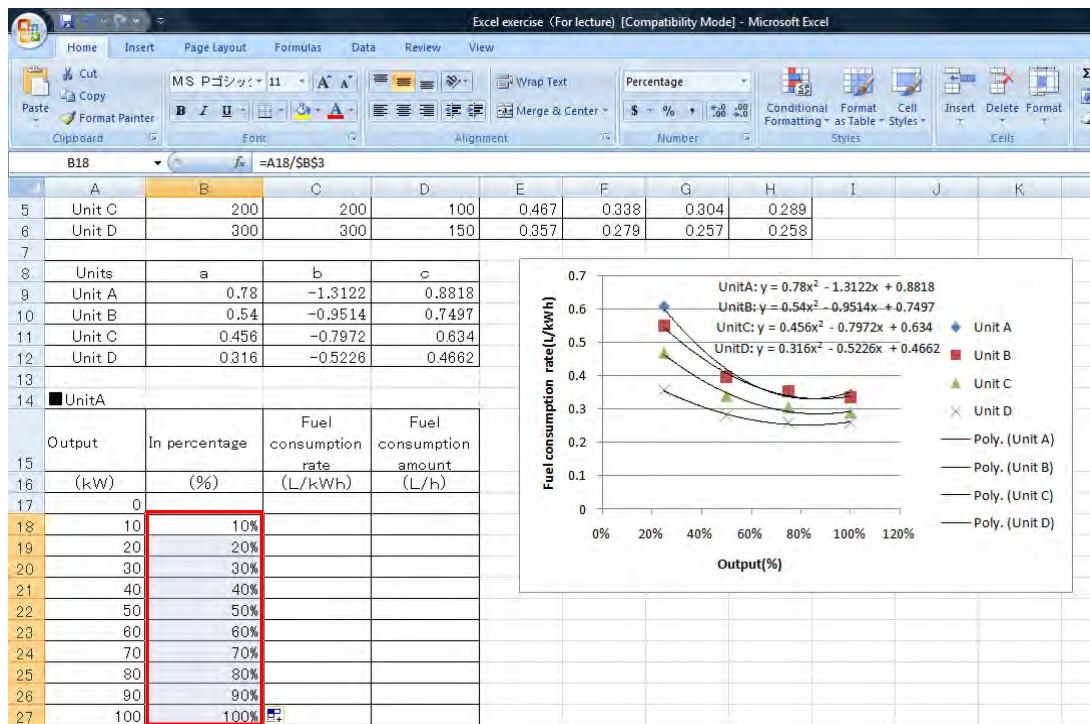


### ② 定格出力に対する出力のパーセンテージを算出する

算出式 → 出力パーセンテージ = 出力 / 定格出力 (=A18/\$B\$18)

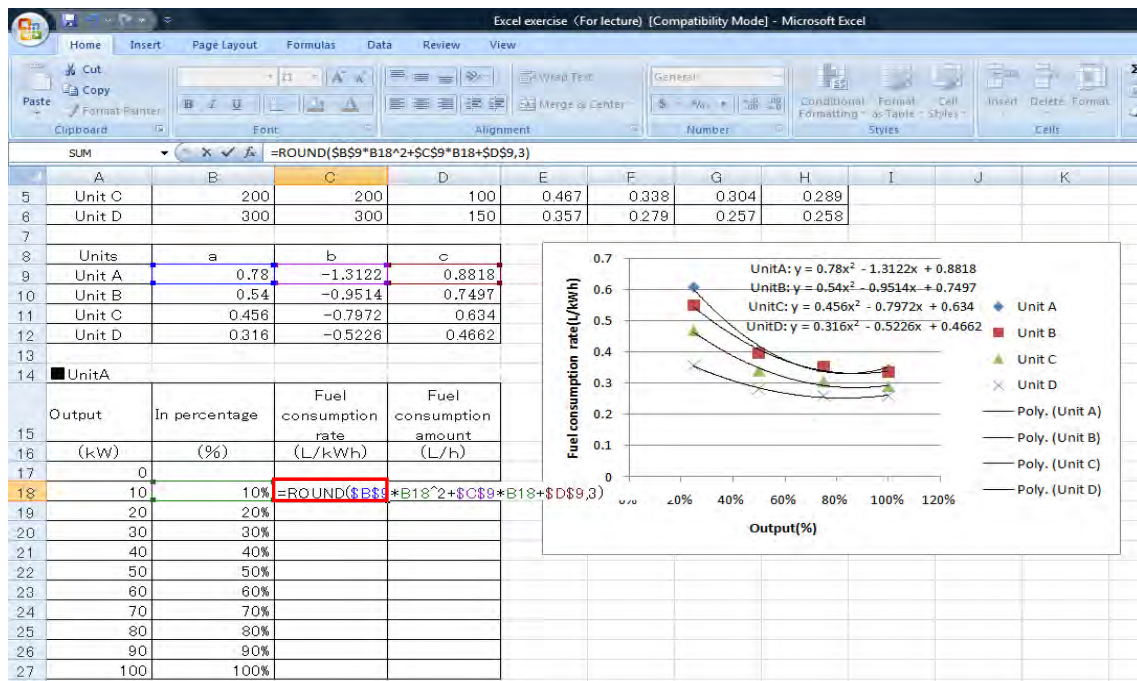


③ スクロールし、すべての出力の出力パーセンテージを算出する

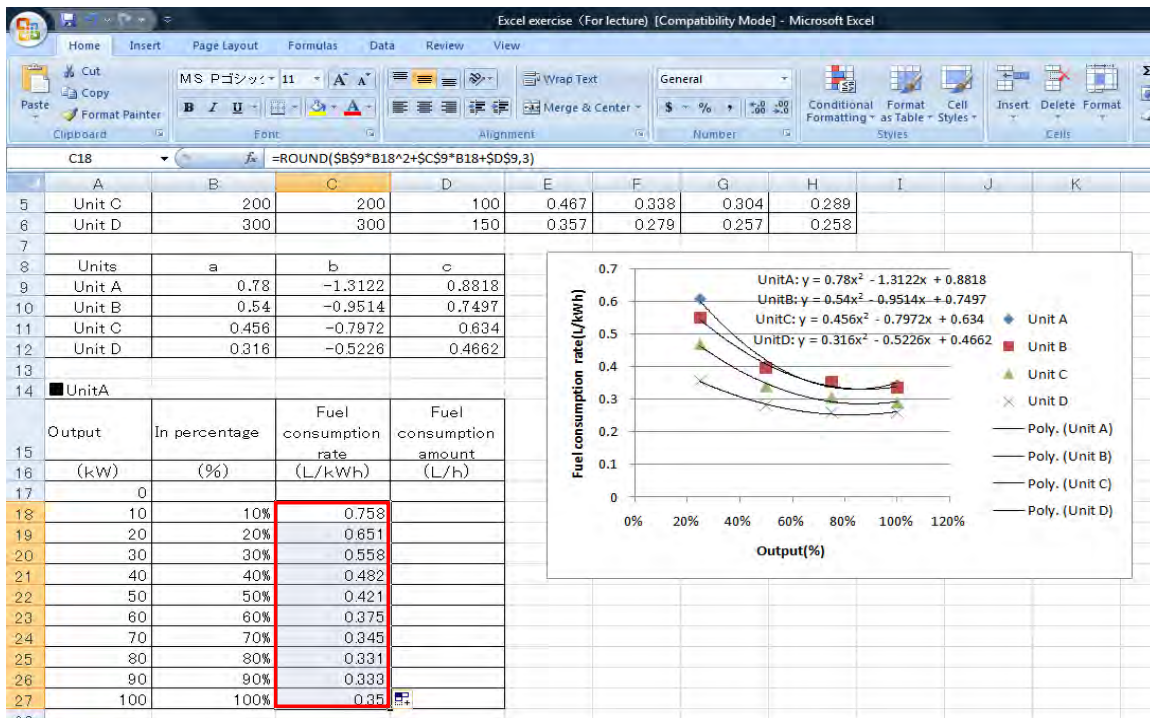


④ すべての出力パーセンテージの燃料消費率を算出する

算出式 → 燃料消費率 =  $a \times (\text{出力パーセンテージ})^2 + b \times (\text{出力パーセンテージ}) + c$   
 $\{=ROUND(\$B\$9*B18^2+\$C\$9*B18+\$D\$9,3)\}$

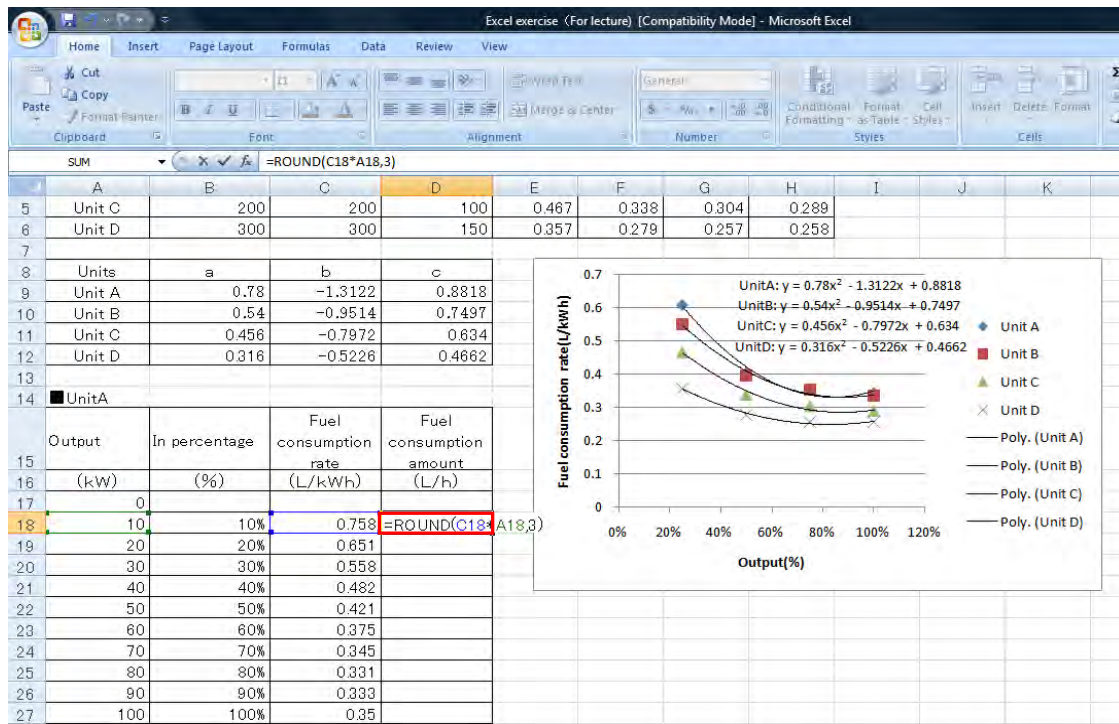


⑤ スクロールし、すべての燃料消費率を算出する

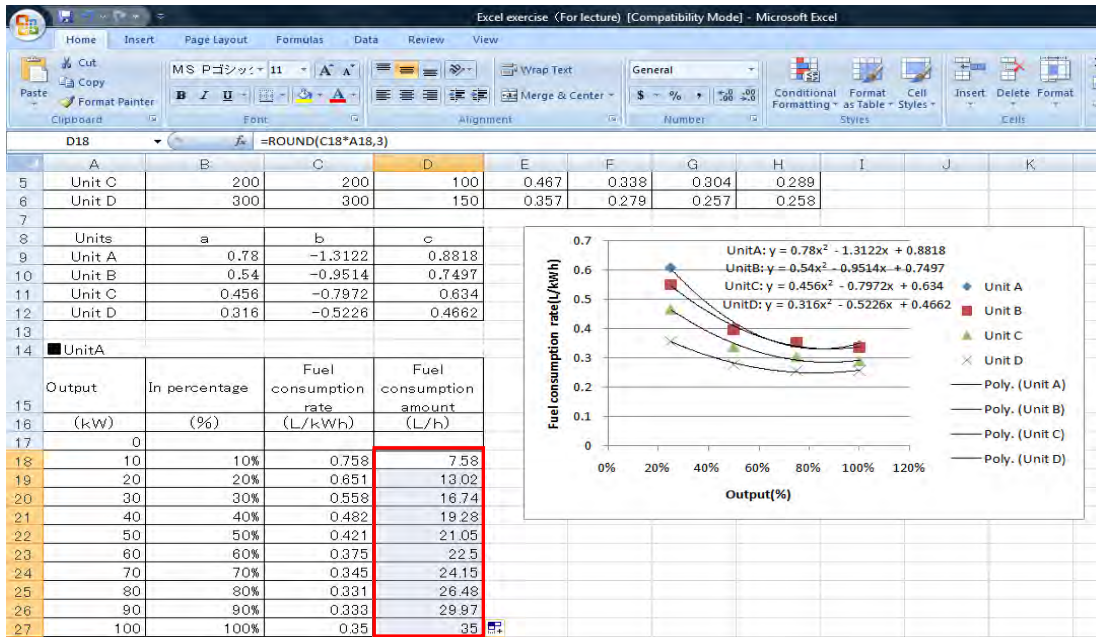


⑥ すべての出力での燃料消費量を算出する

算出式 → 燃料消費量 = 燃料消費率 × 出力 {=ROUND(C18\*A18,3)}



⑦ スクロールし、すべての燃料消費量を算出する



8. 同様に各 Unit の燃料消費量を算出する

なお、算出する出力の幅が小さいほど、経済負荷配分表の精度は上がるがその分作成に時間を要することになる。よって、本セミナーにおいては、算出する出力の幅を 200kW とする。(例として 2 号機のみを算出する。その他の号機は C/P にて算出)

2 号機			
出力(kW)	%に変換	燃料消費率 (L/kWh)	燃料消費量 (L/h)
200	6%	0.3804	76.074
400	12%	0.3590	143.601
600	18%	0.3391	203.482
800	24%	0.3208	256.622
1,000	31%	0.3039	303.921
1,200	37%	0.2886	346.283
1,400	43%	0.2747	384.610
1,600	49%	0.2624	419.803
1,800	55%	0.2515	452.767
2,000	61%	0.2422	484.402
2,200	67%	0.2344	515.612
2,400	73%	0.2280	547.298
2,800	85%	0.2199	615.711
3,000	92%	0.2181	654.243
3,200	98%	0.2178	696.860
3,275	100%	0.2180	714.079

算出した、近似曲線から 5 号機における各出力ごとの(例えば 200kW ごと)燃料消費率( $\ell/\text{kWh}$ )及び燃料消費量( $\ell/\text{kWh}$ )を算出する。

5 号機			
出力(kW)	%に変換	燃料消費率 ( $\ell/\text{kWh}$ )	燃料消費量 ( $\ell/\text{h}$ )
200	6%		
400	12%		
600	18%		
800	24%		
1,000	31%		
1,200	37%		
1,400	43%		
1,600	49%		
1,800	55%		
2,000	61%		
2,200	67%		
2,400	73%		
2,800	85%		
3,000	92%		
3,200	98%		
3,275	100%		

算出した、近似曲線から 6 号機における各出力ごとの(例えば 200kW ごと)燃料消費率(L/kWh)及び燃料消費量(L/h)を算出する。

6 号機			
出力(kW)	%に変換	燃料消費率 (L/kWh)	燃料消費量 (L/h)
200	3%		
400	6%		
600	9%		
800	13%		
1,000	16%		
1,200	19%		
1,400	22%		
1,600	25%		
1,800	28%		
2,000	31%		
2,200	34%		
2,400	38%		
2,800	44%		
3,000	47%		
3,200	50%		
3,400	53%		
3,600	56%		
3,800	59%		
4,000	63%		
4,200	66%		
4,400	69%		
4,600	72%		
4,800	75%		
5,000	78%		
5,200	81%		
5,400	84%		
5,600	88%		
5,800	91%		
6,000	94%		
6,200	97%		
6,400	100%		

算出した、近似曲線から7号機における各出力ごとの(例えば200kW ごと)燃料消費率(L/kWh)及び燃料消費量(L/h)を算出する。

7号機			
出力(kW)	%に変換	燃料消費率 (L/kWh)	燃料消費量 (L/h)
200	3%		
400	6%		
600	9%		
800	13%		
1,000	16%		
1,200	19%		
1,400	22%		
1,600	25%		
1,800	28%		
2,000	31%		
2,200	34%		
2,400	38%		
2,800	44%		
3,000	47%		
3,200	50%		
3,400	53%		
3,600	56%		
3,800	59%		
4,000	63%		
4,200	66%		
4,400	69%		
4,600	72%		
4,800	75%		
5,000	78%		
5,200	81%		
5,400	84%		
5,600	88%		
5,800	91%		
6,000	94%		
6,200	97%		
6,400	100%		



## 6. 複数台ディーゼル発電機運用時の効率的運用方法の概論

### (1) 等増分燃料消費の原則

#### 1) 出力が等しい2台のディーゼル発電機の場合

発電所が複数ある場合や発電機が複数台ある場合に最も経済的な発電を行うために、「等増分燃料消費の原則」という考え方が用いられる。

これは、系統内のいずれの発電機の出力が微小増加しても燃料費の増加が等しいときに、燃料消費量が最小になるという原則である。ここで、図 6-1 に示すような発電機が2台の場合のモデルシステムを用いて解説する。

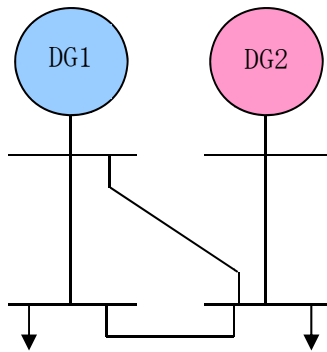


図 6-1 2台の発電機を用いた発電モデル

DG1 と DG2 の2台のディーゼル発電機を用いて電力供給を行う場合、DG1 の出力、DG2 の出力、燃料消費量の関係は図 6-2 のようになる。例えば出力が 10kW 必要な場合、コストが最小となる DG1 出力、DG2 出力、燃料消費量の関係は図の黄色い点(最適点)で示される。最適点が求められるまでを次頁より順を追って解説する。

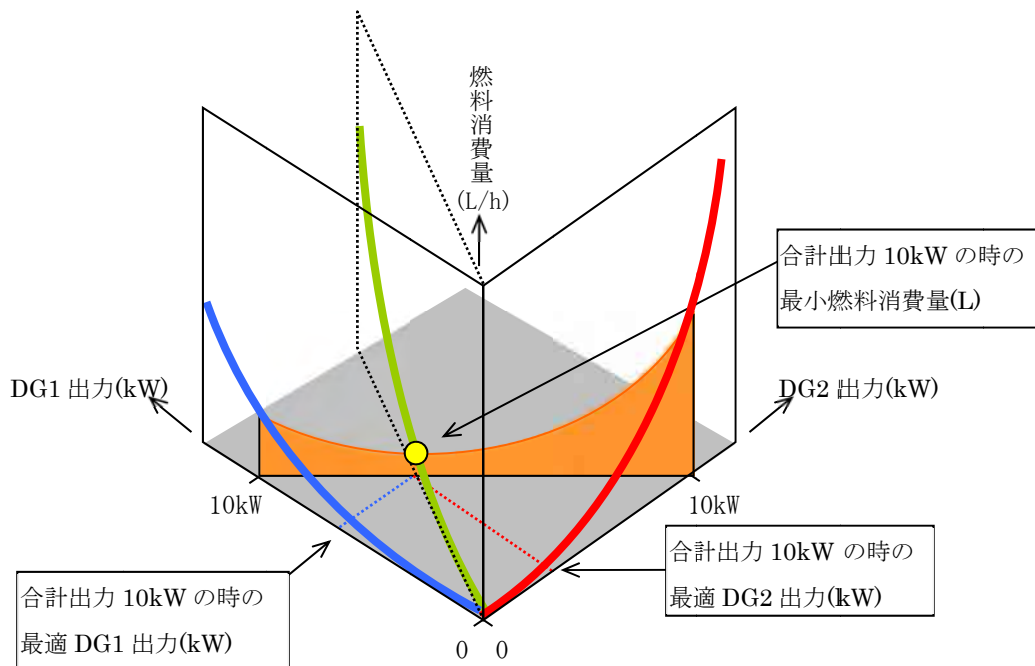


図 6-2 燃料消費量曲線(DG1、DG2、最適)の関連イメージ

2台の発電機の実出力(kW)と燃料消費量(L/h)の関係をグラフに表す(図6-3)。2台の発電機は、ともに出力が大きくなるにつれて燃料消費量が増加し、また、全体的にはDG2の燃料消費量が少ないことがわかる。

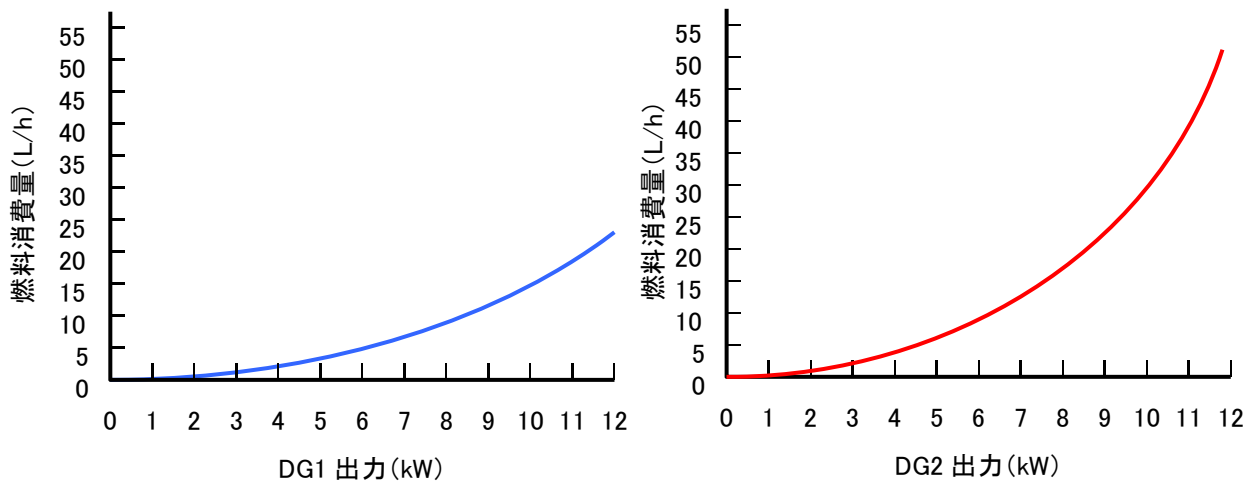


図 6-3 各発電機の燃料消費量曲線

この2台の発電機を使用して、10kWの発電電力を得ようとした場合、2台の出力の関係は図6-4のライン上のいずれかの点を取る。

仮にDG1の出力が4kW、DG2の出力が6kWは場合を○印とする。

さらにDG1の出力が2kW、DG2の出力が8kWは場合を●印とする。

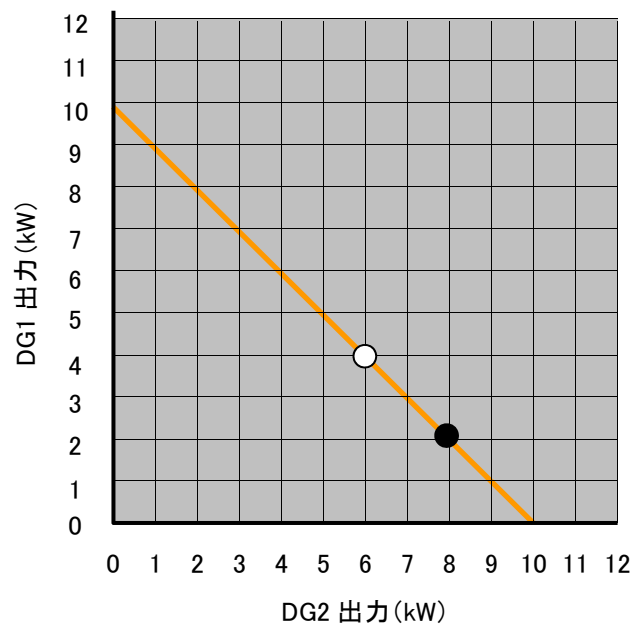


図 6-4 モデル系統における出力配分(10kW)

この図 6-4 に、燃料消費量軸(z 軸)を加え、図 6-3 に示す発電機の燃料消費量曲線を示すと図 6-5 のようになる。

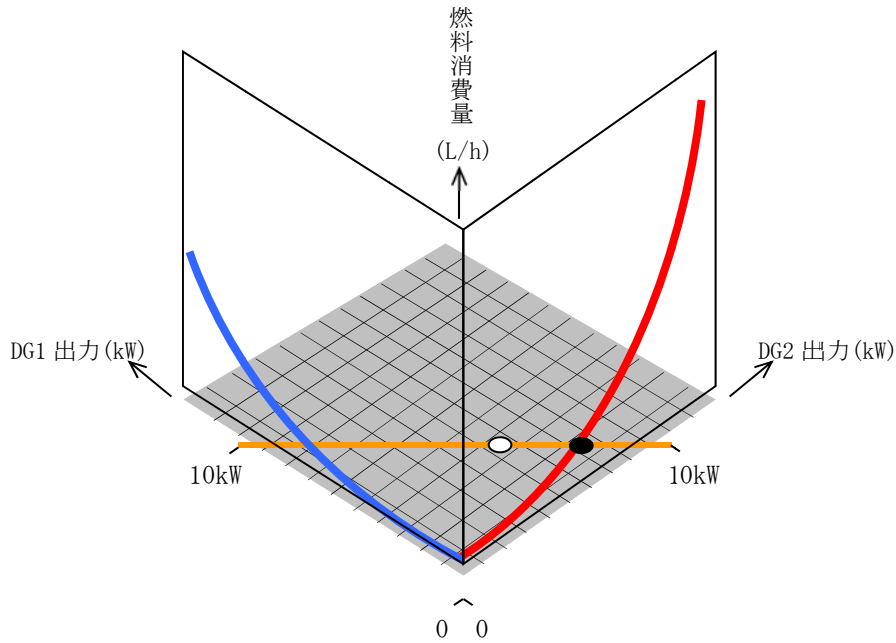


図 6-5 燃料消費量曲線と出力配分の相関イメージ

この時、燃料消費量は図 6-6 で表す点(●、●)のようになり、出力の割合により変化してくる。出力割合が0の時、燃料消費量は●で、●の場合の●と比べて消費量が減少している事がわかる。(ただし、ここで各出力割合に対する燃料消費量を示す曲線(黒)は形式的な線であり、実際にこの曲線を求めるためには、各出力割合毎の燃料消費量を算出する必要がある)

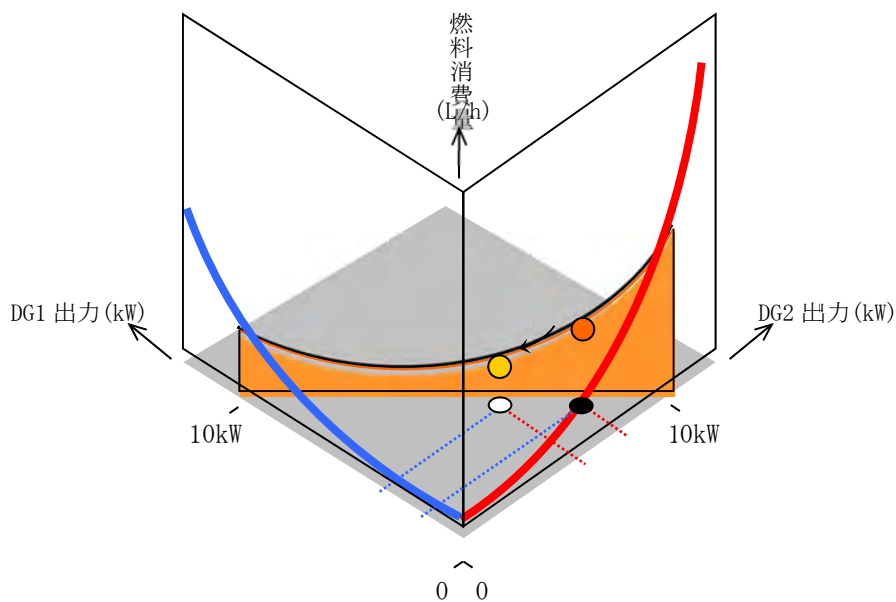


図 6-6 出力割合による燃料消費量の違い

よって、合計出力 10kW の場合、燃料消費量が最小となるのは図 6-7 に示す●によって表され、DG1 と DG2 の出力も決定される。

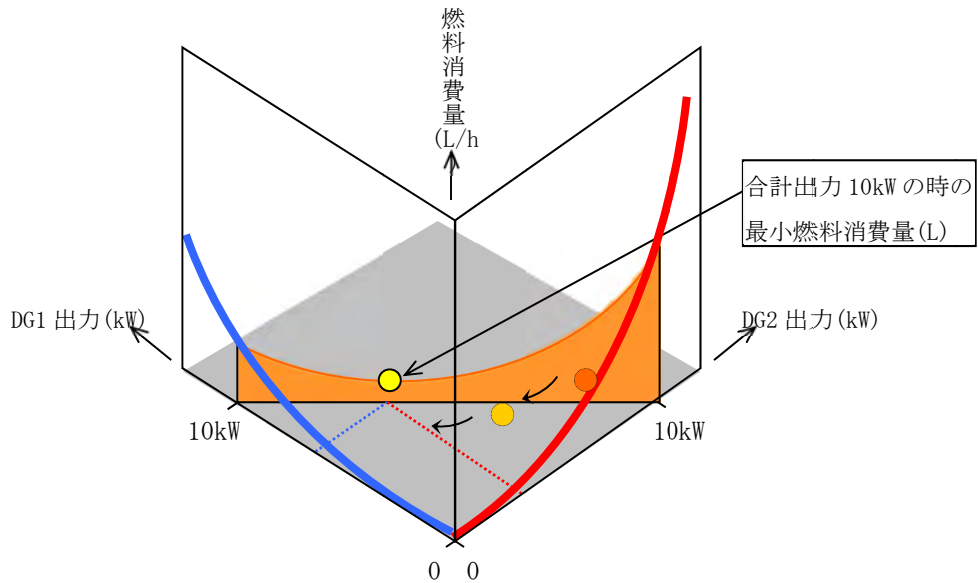


図 6-7 合計出力 10kW 時の最少燃料消費量

このようにして、最小燃料消費量のポイントを全ての出力について求めていくと、●は図 6-8 に示された曲線(グリーンの線)を描く。この曲線は DG1 及び DG2 起動時における最適燃料消費量曲線となる。

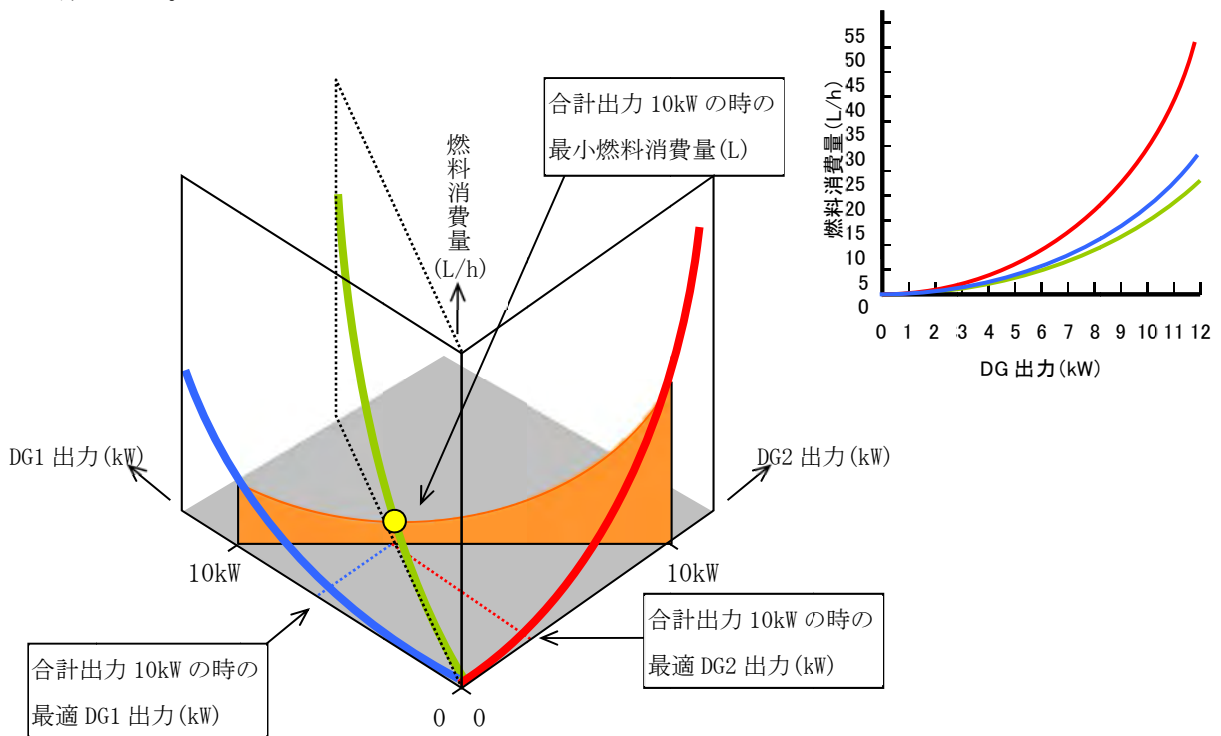


図 6-8 燃料消費量曲線(DG1、DG2、最適)の相関イメージ

## 2) 出力が等しい3台以上のディーゼル発電機の場合

出力が等しいディーゼル発電機を3台以上同時に発電させた場合の最適燃料消費曲線のイメージを解説する。

前頁までの方法と同様に、2台の発電機について最適な燃料消費量曲線を求める。図6-9に示すように、求めた2台の最適な燃料消費量曲線をスライドさせ、次にこれと3台目の発電機の燃焼消費量曲線(パープルの線)について最適な燃料消費量曲線を求めればよい(図6-10)。

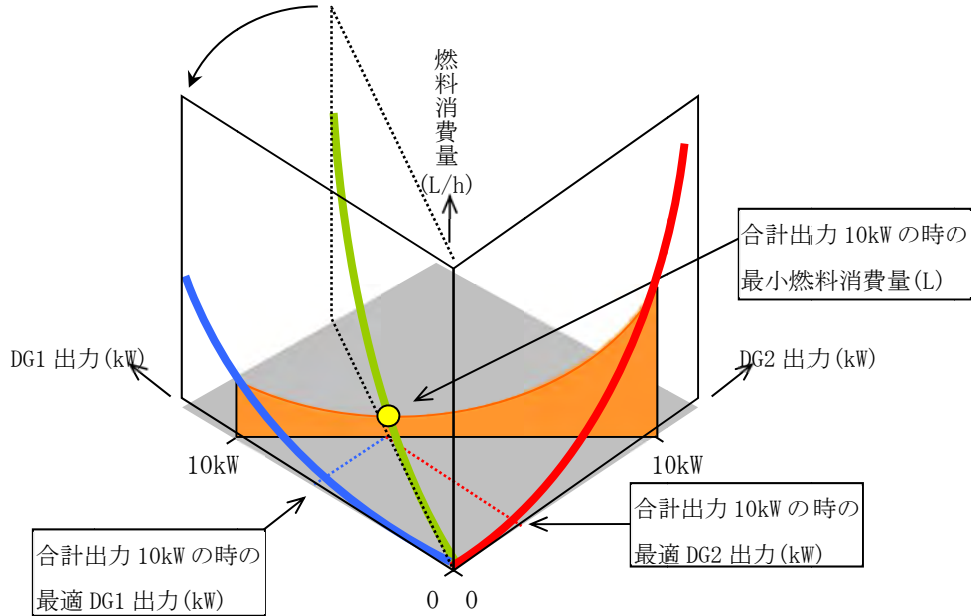


図 6-9 燃料消費量曲線(DG1、DG2、最適)の関連イメージ

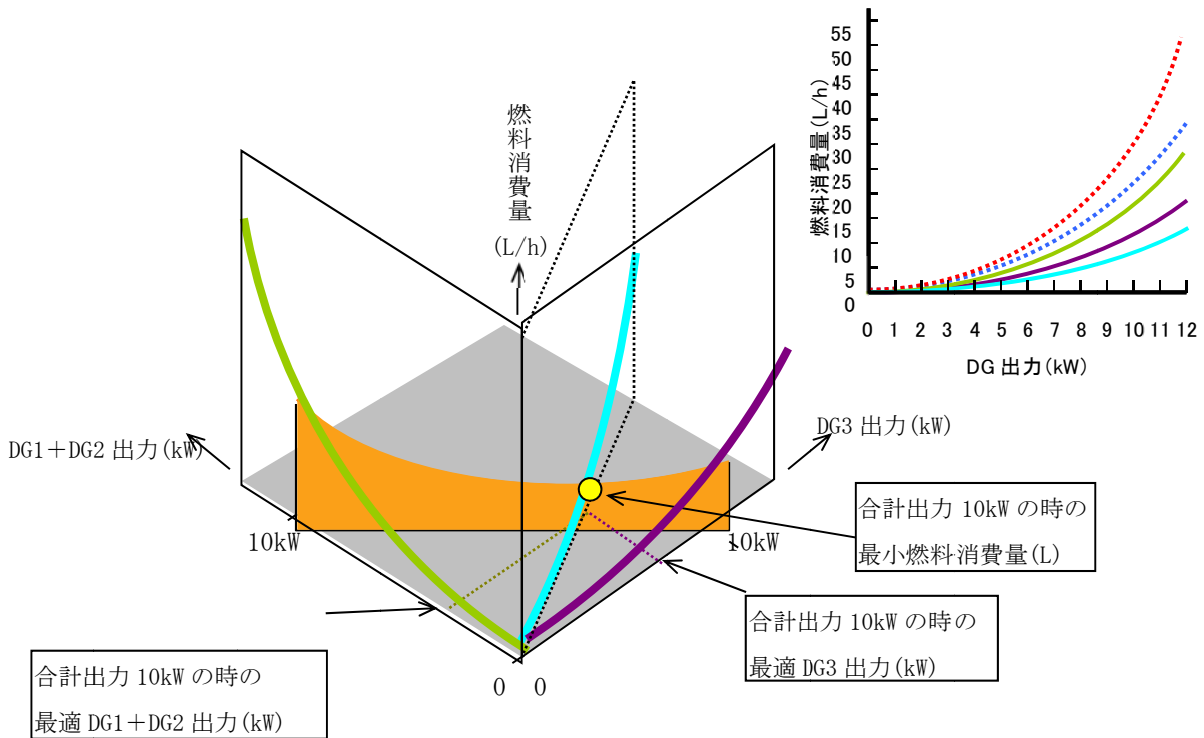


図 6-10 燃料消費量曲線(DG1 および DG2 の最適、DG3、3 台の最適)の関連イメージ

### 3) 出力が異なるディーゼル発電機の場合

しかし、現実の発電所では、出力が異なる発電機を使用する状況もよくみられる。ここでは出力が異なる2台のディーゼル発電機を発電させた場合の最適燃料消費曲線のイメージを解説する。

DG1が12kW、DG2が20kWまでの発電機を使用した際の最適燃料消費曲線は、図6-11のようになる。最適な曲線のうち、破線部は、DG1出力は12kWのまま、DG2の出力上昇のみで負荷の上昇に対応している事を示している。

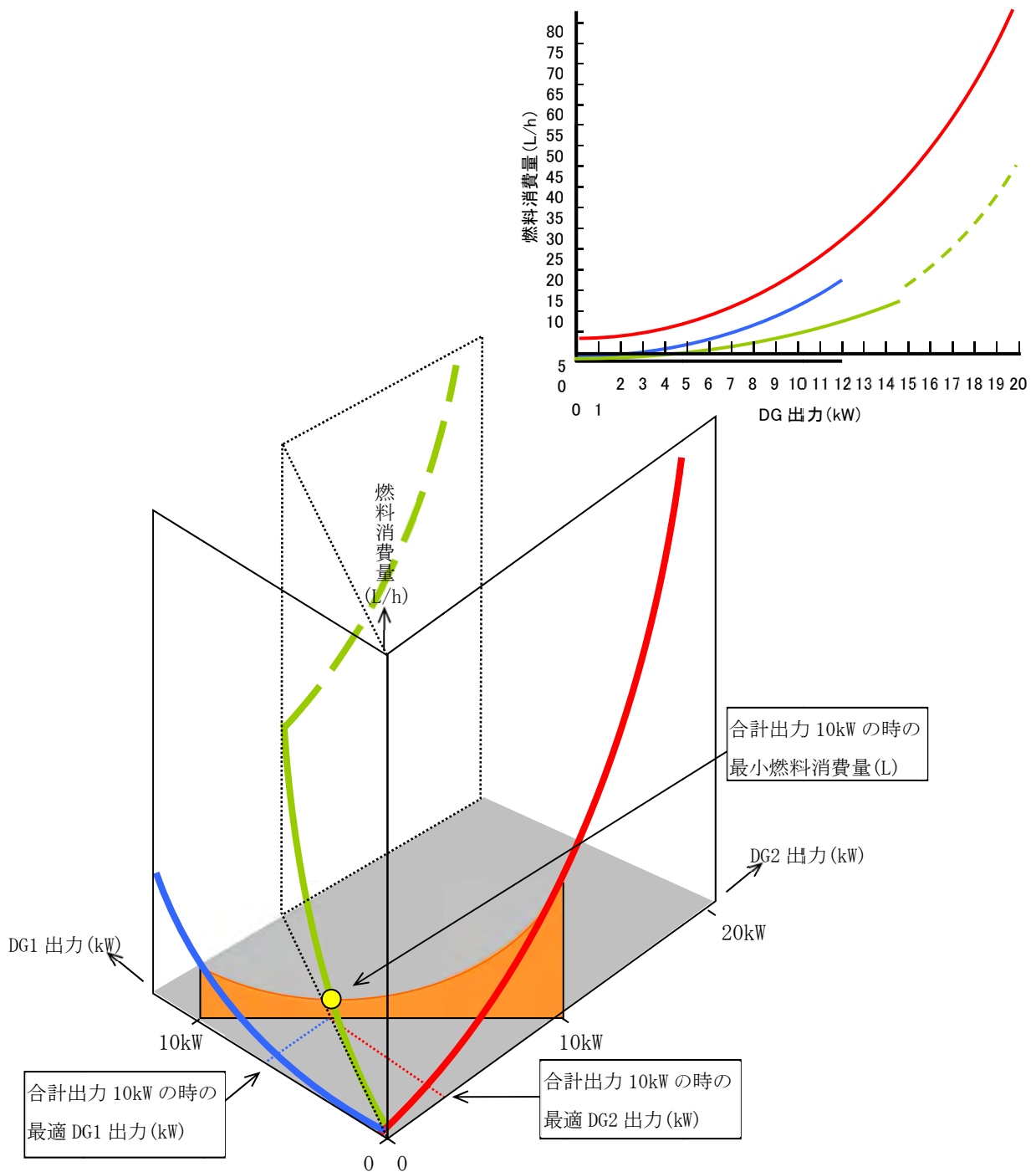


図 6-11 燃料消費量曲線(DG1、DG2、最適)の相関イメージ

現実の電力系統には各種の制約が存在し、単純に等増分燃料費の原則に従い、燃料消費量が最小になる事だけを考慮して発電機出力配分(経済付加配分)を決定することは困難である。特に、送電線の定格容量は重要な制約となっている。例えば、設備の有効活用、電力供給の利便性から基幹系統をループ運用する場合、燃料消費量の少ない発電機から電力を運搬することが可能になるが、場合によっては、送電線の定格容量の面から、電力に制限を加えることがある。

普通の系統では発電機定格容量よりも送電線の定格容量が小さいという非合理的な設備形成は行わないが、仮に、DG2 の出力を送る送電線の定格容量に制約があるとする(図 6-12)。この場合、仮に合計出力 10kW を得ようとすると、実行可能な領域が制限されているので本来の最適点(●)と比べ、実際の最適点(○)は若干燃料消費量が多くなる(図 6-13)。

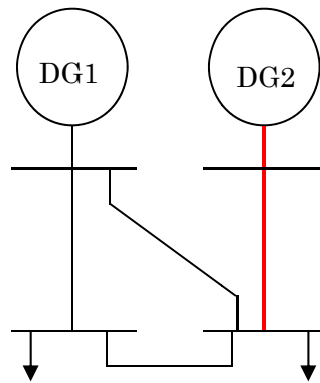


図 6-12 発電モデル(送電線の制約あり)

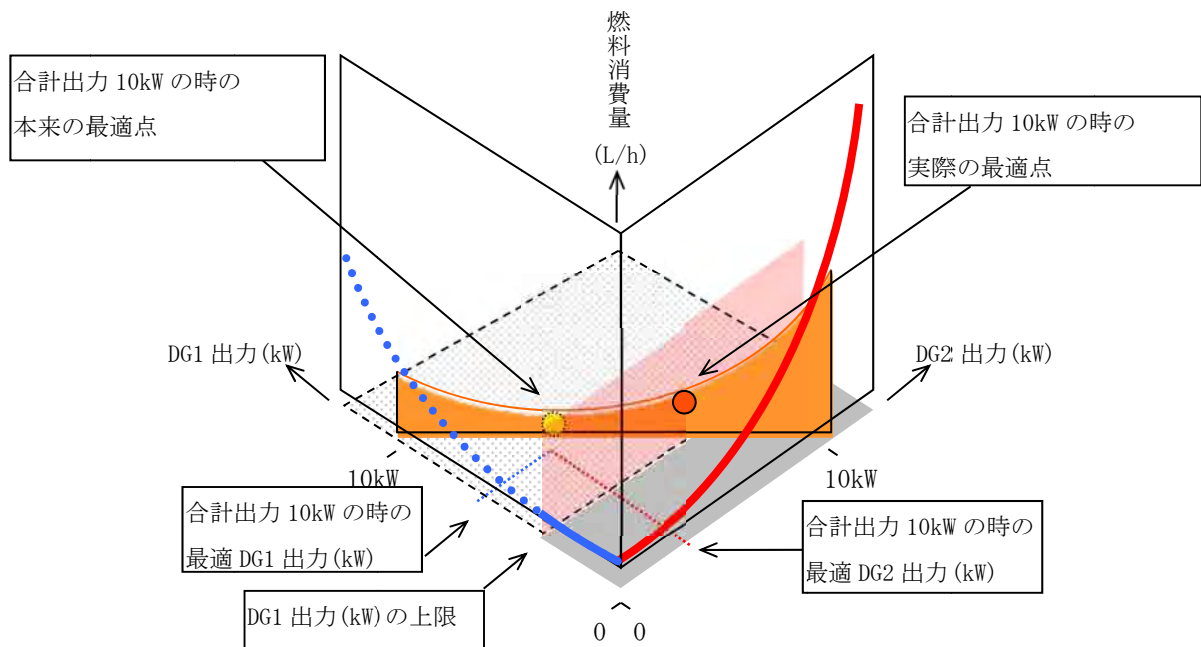


図 6-13 DG1 に出力制限がある場合の燃料消費最適点

このように燃料費がシステムの制約から理想状態よりも若干高くなる事がある。

現実の電力運用では様々な制約が存在するので、それらを適切に考慮し、最も燃料消費量が少なくなるように運用することが望ましい。

## 7. 経済負荷配分表の作成

各負荷帯における各使用発電機の経済負荷配分値を算出し、経済負荷配分表を作成する。ここでの経済負荷配分値計算は、Microsoft office Excel の VBA(Visual Basic for Applications)を用いて作成した計算ソフトにて行うものとする。計算ソフトの使用説明を添付資料-1「経済負荷配分ソフト使用説明書」に記載する。





## ②経済負荷配分ソフト使用説明書

# 経済負荷配分ソフト使用説明書

## 目次

(1) 経済負荷配分ソフトとは .....	1
(2) 経済負荷配分ソフトの特徴 .....	1
(3) 経済負荷配分ソフトの使用手順.....	1
(4) 経済負荷配分ソフトの使用法 (Microsoft office Excel 2007) .....	2
①経済負荷配分ソフトの起動 .....	2
②経済負荷配分ソフトへの DG データの入力 .....	5
③経済負荷配分ソフトの実行 .....	17
④経済負荷配分ソフト実行時のエラー .....	21
⑤各入力条件による計算結果の違い.....	26
(5) 経済負荷配分ソフトを使用する上での注意事項 .....	29

### (1) 経済負荷配分ソフトとは

電力を供給する場合、事故や故障など不慮の事態に備えて、発電機を複数台設置することが一般的である。

経済負荷配分運転とは、複数台設置された各発電機間の負荷配分が最も経済的になるように、各発電機出力を制御する運転のことである。経済負荷配分運転により、離島等における化石燃料の消費削減、二酸化炭素などの温室効果ガスの排出抑制などを実現することができる。

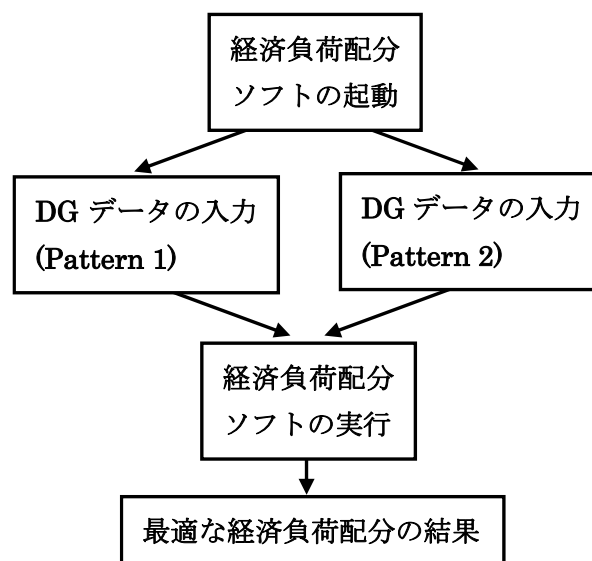
経済負荷配分ソフトとは、ディーゼル発電機(以下 DG)を複数台運転する場合において、最も燃料消費量の少ない負荷配分を計算するソフトである。この経済負荷配分ソフトは Microsoft office Excel の VBA(Visual Basic for Applications)を用いて作成されており、主に経済負荷配分表作成に用いることができる。

### (2) 経済負荷配分ソフトの特徴

経済負荷配分ソフトでは、はじめに DG のデータ入力を行い、経済負荷配分計算を実行する。また、燃料消費率データの負荷配分ソフトへの入力は、ソフトに 50%、75%、100%の 3 点の燃料消費率データをソフト内の所定の入力欄に入力し、自動計算によって燃料消費率カーブの係数を算出する方法(Pattern1)と、負荷配分ソフトを用いる前に、事前に Microsoft office Excel を用いて、25%、50%、75%、100%の 4 点のデータから燃料消費率カーブのグラフを作成し、係数を求め、ソフトの所定の入力欄に入力する方法(Pattern2)の 2 通りある。

尚、後者の方法が、4 点のデータを用いて係数を算出していることから精度は高いと考えられるが、前者の方法と精度にはそれほど大差は無い。よって、前者の方法である、燃料消費率(50%、75%、100%)の 3 点のデータからソフト内の所定の欄に入力し自動計算で、燃料消費率カーブの係数を算出の方が単純で、より簡単である。

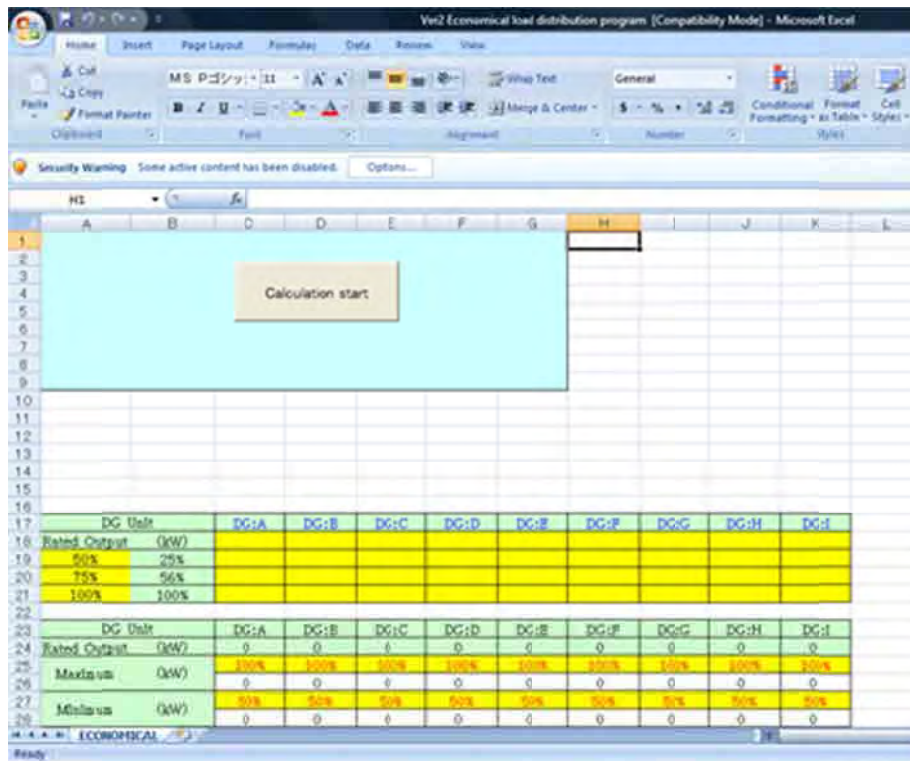
### (3) 経済負荷配分ソフトの使用手順



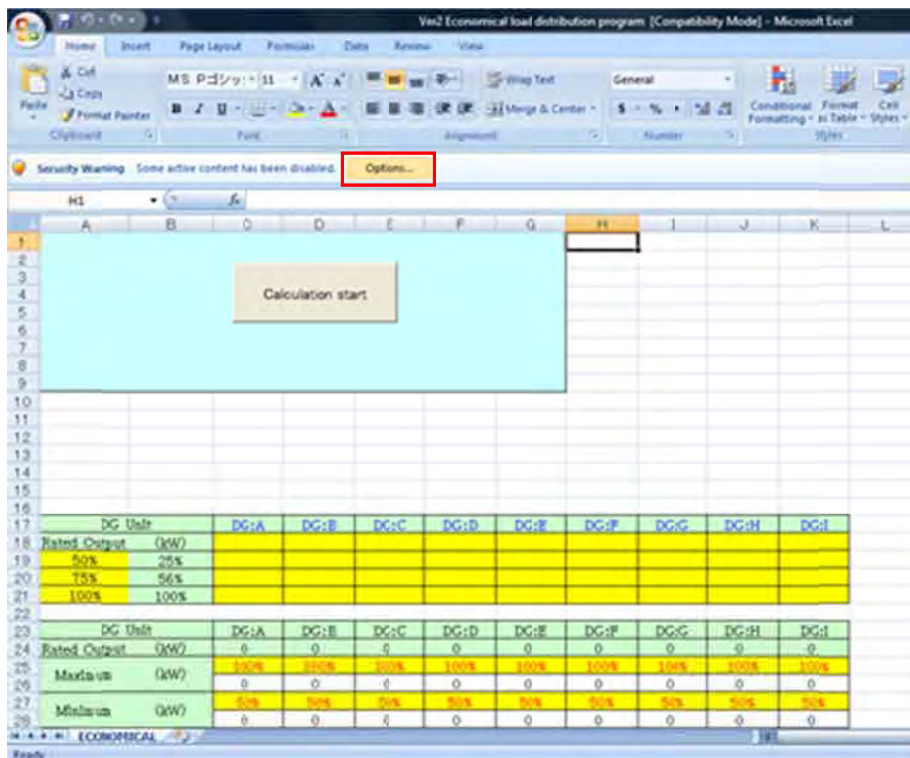
## (4) 経済負荷配分ソフトの使用法 (Microsoft office Excel 2007)

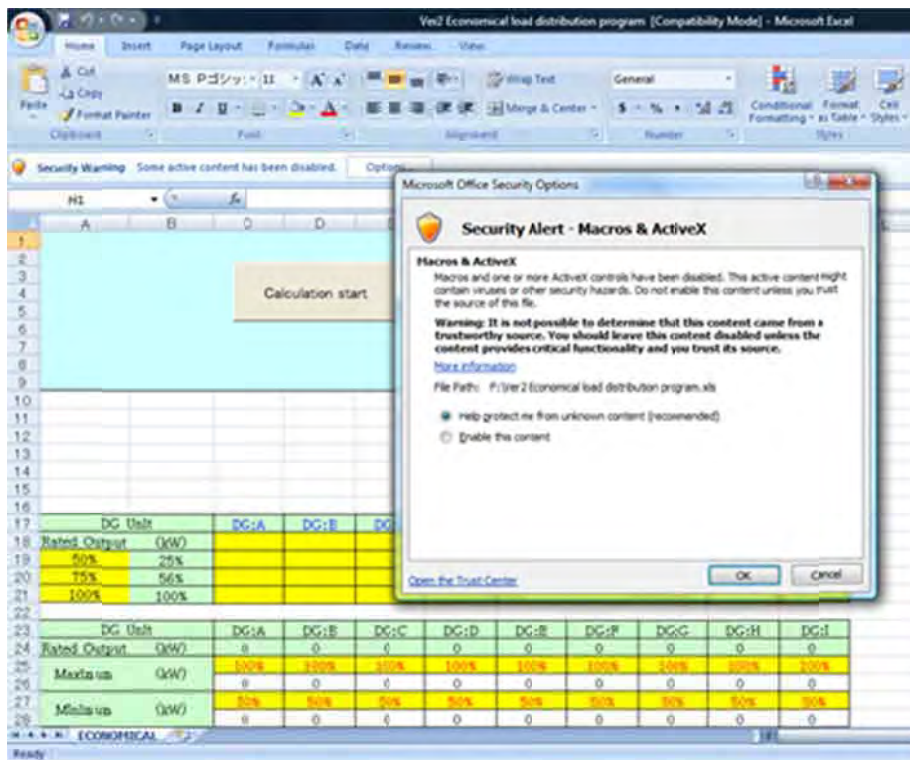
### ① 経済負荷配分ソフトの起動

#### 1. 経済負荷配分ソフトを開く

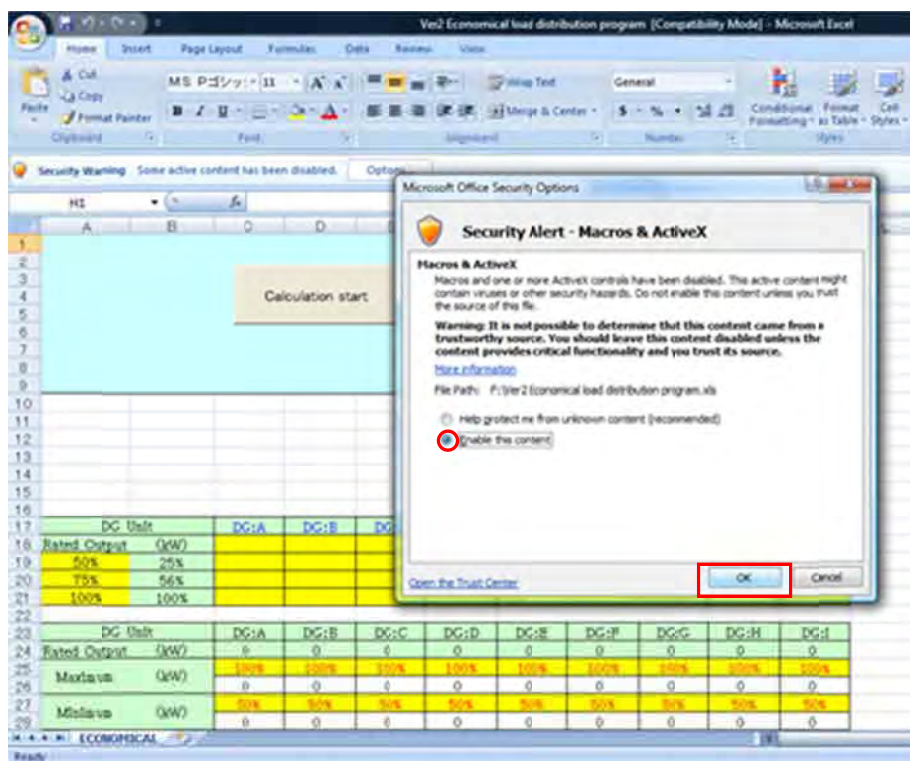


#### 2. 【Options】をクリック

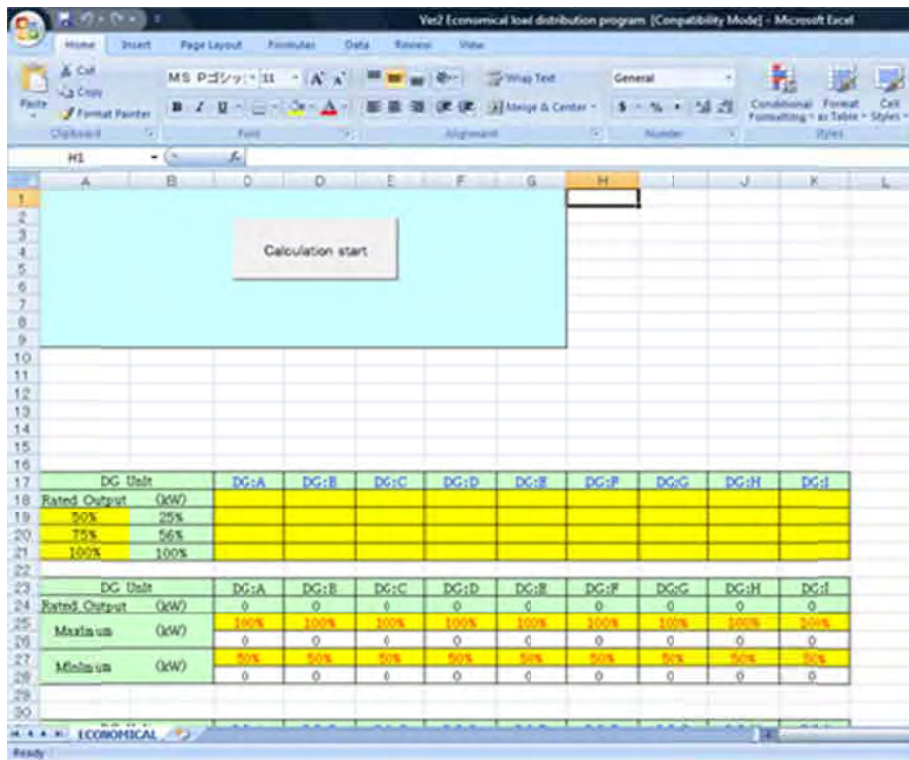




3. 【Enable this content】にチェックを入れ、【OK】をクリック



4. 以上で経済負荷配分ソフトの起動は終了

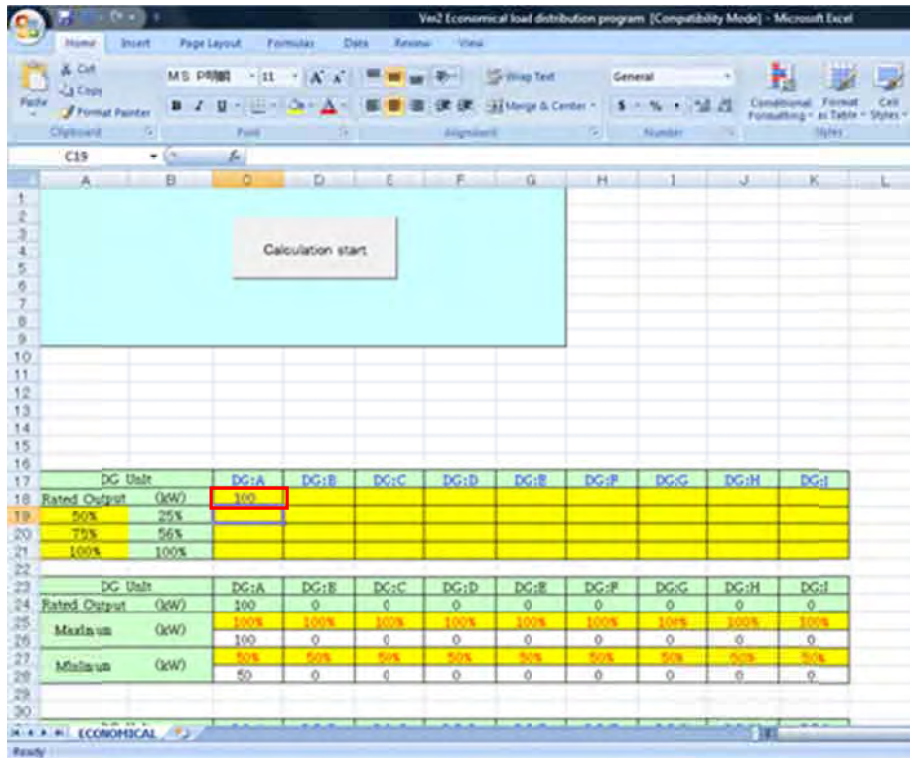




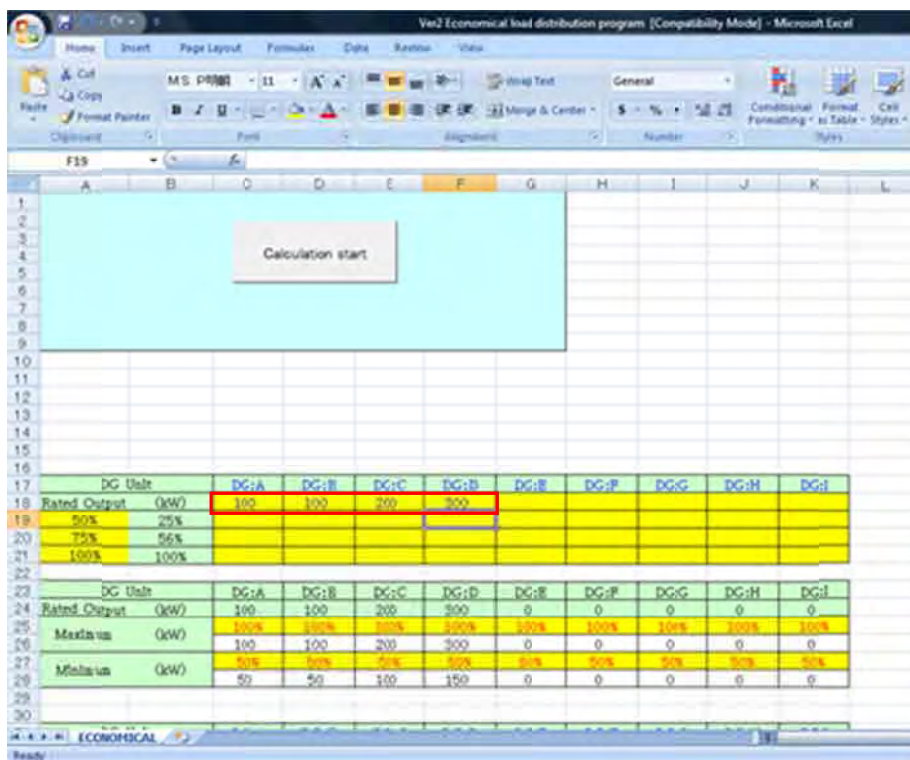
② 経済負荷配分ソフトへの DG データの入力

Pattern 1 3点(50%, 75%, 100%出力)の燃料消費率を入力する

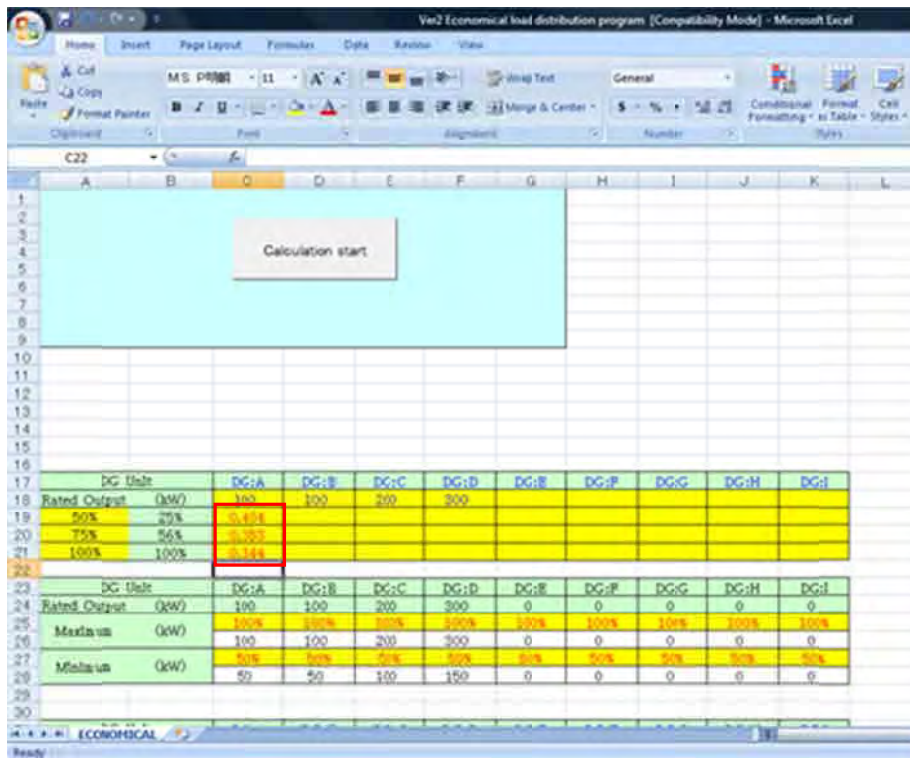
1. C18セルを選択し、DG:Aの定格出力を入力する



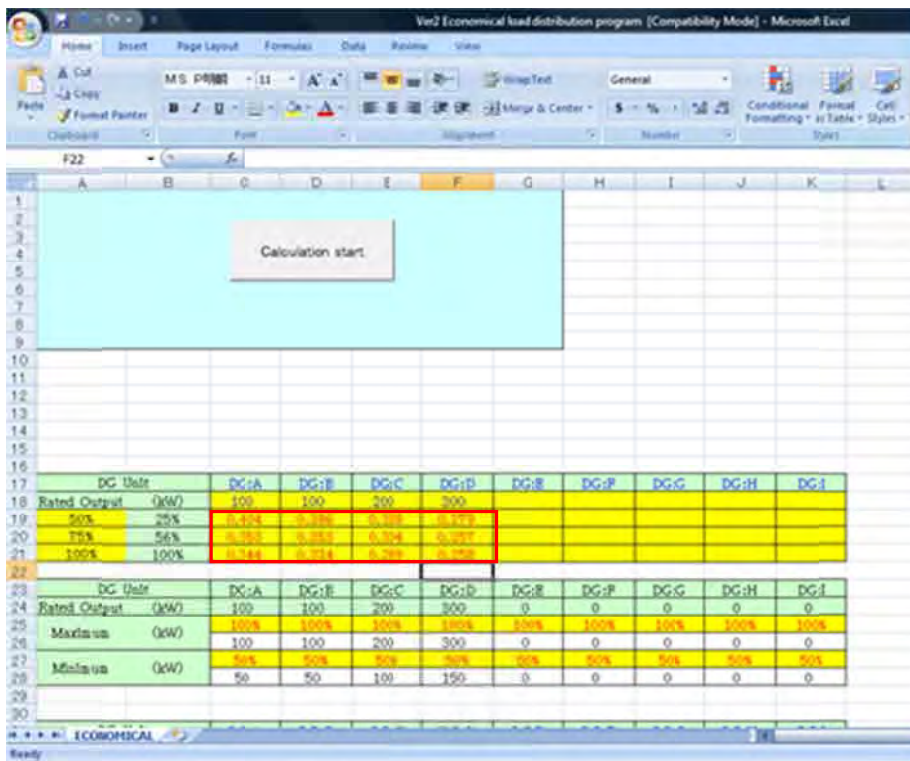
2. 同様に他の DG の定格出力も入力する



3. 次に DG:A の燃料消費率(50%,75%,100%出力)を C19:C21 セルに入力する



4. 同様に他の DG の燃料消費率も入力する



5. 燃料消費率の3点(50%,75%,100%出力)のパーセンテージが異なる点である場合、パーセンテージを変更しなければならない。

例えば、燃料消費率の3点(30%,60%,90%)が分かっている場合 A19:A21 セルを変更する。

※今回の例では燃料消費率の3点(50%,75%,100%出力)であるため、そのままよい

DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (kW)	100	100	200	300					
30%	9%	0.80%	0.29%	0.83%	0.27%				
60%	36%	3.20%	1.16%	3.32%	1.07%				
90%	81%	7.20%	2.63%	7.56%	2.38%				

DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
Maximum (kW)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Minimum (kW)	50%	50%	100%	150%	0%	0%	0%	0%	0%

6. 次に DG の出力上限値・下限値パーセンテージを入力し、出力上限値・下限値を設定する

※今回の例では出力上限値 100%,出力下限値 50%とするので、そのままよい

DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (kW)	100	100	200	300					
50%	25%	0.40%	0.29%	0.29%	0.27%				
75%	56%	0.75%	0.29%	0.29%	0.27%				
100%	100%	0.44%	0.29%	0.29%	0.27%				

DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
Maximum (kW)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Minimum (kW)	50%	50%	100%	150%	0%	0%	0%	0%	0%

出力上限値・下限値を変更したい場合

例えば、DG:A の出力上限値を 90kW にしたい場合は、DG:A の定格出力は 100kW であるので出力上限値パーセンテージは 90%である。C25 セルに 90 を入力する

DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:F	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (kW)	100	100	200	300					
50%	50%	50%	100%	150%					
75%	75%	75%	150%	225%					
100%	100%	100%	200%	300%					
Maximum Q(W)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
Minimum Q(W)	50	50	100	150	0	0	0	0	0

DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:F	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (kW)	100	100	200	300					
50%	50%	50%	100%	150%					
75%	75%	75%	150%	225%					
100%	100%	100%	200%	300%					
Maximum Q(W)	90	100	200	300	0	0	0	0	0
Minimum Q(W)	50	50	100	150	0	0	0	0	0

同様に DG:A の出力下限値を 40kW にしたい場合は、DG:A の定格出力は 100kW であるので出力下限値パーセンテージは 40%である。C27セルに 40 を入力する。

DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
50%	50%	50%	100%	150%	0%	0%	0%	0%	0%
75%	75%	75%	150%	225%	0%	0%	0%	0%	0%
100%	100%	100%	200%	300%	0%	0%	0%	0%	0%

DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
Maximum (kW)	90	100	200	300	0	0	0	0	0
Minimum (kW)	40	50	100	150	0	0	0	0	0

DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
Maximum (kW)	90	100	200	300	0	0	0	0	0
Minimum (kW)	40	50	100	150	0	0	0	0	0

7. 燃料消費率カーブの係数を算出するために関数を入力する

まず DG:A の燃料消費率カーブの係数 a を算出するために関数を入力する

C33 セルに次の関数を入力する

入力する関数 : =INDEX(LINEST(C\$19:C\$21,\$A\$19:\$B\$21),1)

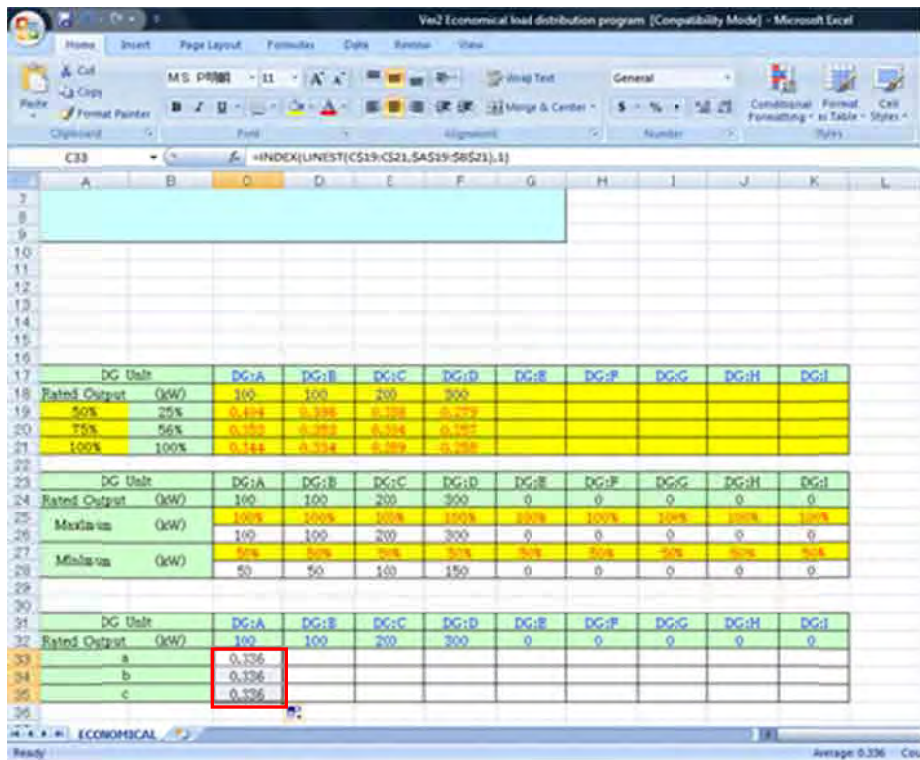
The screenshot shows the Excel interface with the formula bar containing the function: `=INDEX(LINEST(C$19:C$21,$A$19:$B$21),1)`. The spreadsheet data is as follows:

DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (kW)	100	100	200	300					
50%	0.484	0.338	0.328	0.222					
75%	0.352	0.252	0.244	0.152					
100%	0.144	0.124	0.202	0.208					

The screenshot shows the same Excel spreadsheet, but now the result of the formula is visible in cell C33. The formula bar is empty, and the value 0.136 is displayed in the cell. The spreadsheet data is as follows:

DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
Maximum (kW)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Minimum (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
Minimum (kW)	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Minimum (kW)	50	50	100	150	0	0	0	0	0

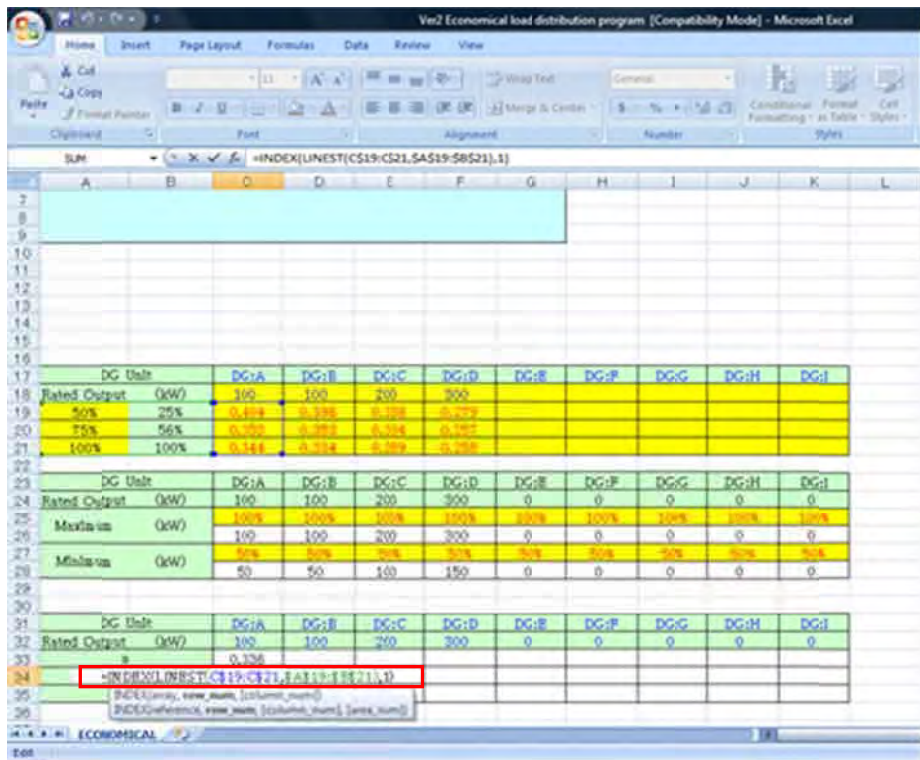
8. 縦にスクロールし、燃料消費率カーブの係数 b,c にも同様の関数を入れる



9. C34セルを開き、関数を書き換える

書き換える前の関数 : =INDEX(LINEST(C\$19:C\$21,\$A\$19:\$B\$21),1)

書き換えた後の関数 : =INDEX(LINEST(C\$19:C\$21,\$A\$19:\$B\$21),2)



Ver2 Economical load distribution program [Compatibility Mode] - Microsoft Excel

Home Insert Page Layout Formulas Data Review View

Clipboard Font Alignment Number Styles

Formulas: =INDEX(LINEST(C\$19:C\$21,\$A\$19:\$B\$21),2)

7	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
17	DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I		
18	Rated Output (kW)	100	100	200	300							
19	50%	25%	0.494	0.796	0.799	0.279						
20	75%	56%	0.753	0.793	0.704	0.257						
21	100%	100%	0.744	0.734	0.289	0.258						
23	DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I		
24	Rated Output (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0		
25	Maximum (kW)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		
26	Minimum (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0		
27	Maximum (kW)	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%		
28	Minimum (kW)	50	50	100	150	0	0	0	0	0		
31	DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I		
32	Rated Output (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0		
33	a		0.336									
34												
35												
36												

Ver2 Economical load distribution program [Compatibility Mode] - Microsoft Excel

Home Insert Page Layout Formulas Data Review View

Clipboard Font Alignment Number Styles

Formulas: =INDEX(LINEST(C\$19:C\$21,\$A\$19:\$B\$21),1)

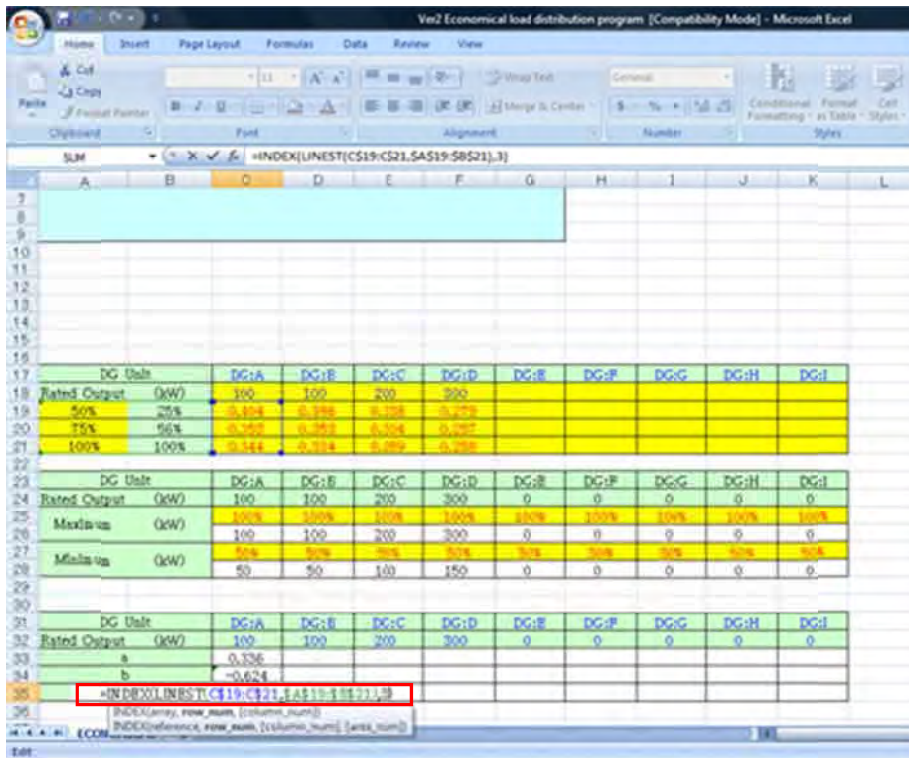
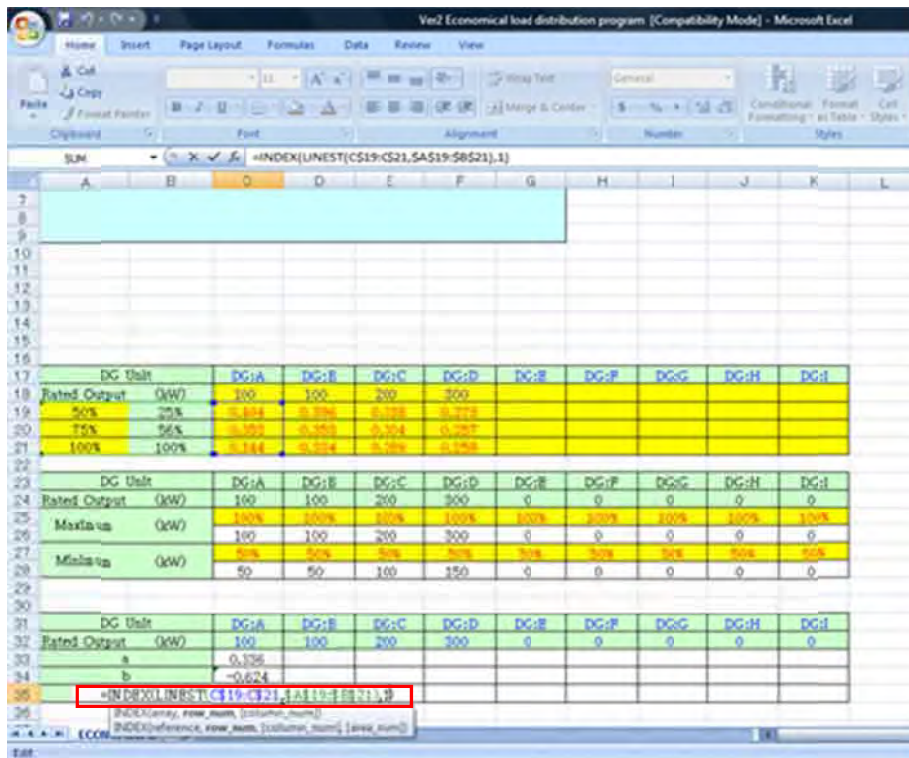
7	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
17	DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I		
18	Rated Output (kW)	100	100	200	300							
19	50%	25%	0.494	0.796	0.799	0.279						
20	75%	56%	0.753	0.793	0.704	0.257						
21	100%	100%	0.744	0.734	0.289	0.258						
23	DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I		
24	Rated Output (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0		
25	Maximum (kW)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		
26	Minimum (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0		
27	Maximum (kW)	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%		
28	Minimum (kW)	50	50	100	150	0	0	0	0	0		
31	DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I		
32	Rated Output (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0		
33	a		0.336									
34	b		-0.624									
35	c		0.336									
36												



10. 同様に C35 セルを開き、関数を書き換える

書き換える前の関数 : =INDEX(LINEST(C\$19:C\$21,\$A\$19:\$B\$21),1)

書き換えた後の関数 : =INDEX(LINEST(C\$19:C\$21,\$A\$19:\$B\$21),3)



Ver2 Economical load distribution program [Compatibility Mode] - Microsoft Excel

DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
50%	25%	0.484	0.798	0.728	0.278				
75%	56%	0.753	0.953	0.904	0.287				
100%	100%	0.944	0.934	0.989	0.258				
DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
Maxima (kW)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Minima (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
	50	50	100	150	0	0	0	0	0
DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
a	0.336								
b	-0.624								
c	0.632								

燃料消費率カーブの係数を求める関数

燃料消費率カーブの式： $y=ax^2+bx+c$

1 2 3

DG:A の場合

$a=INDEX(LINEST(C\$19:C\$21, \$A\$19:\$B\$21), 1)$

$b=INDEX(LINEST(C\$19:C\$21, \$A\$19:\$B\$21), 2)$

11. 横にスクロールし、他の DG の燃料消費率カーブの係数 a を関数により算出する

DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (kW)	100	100	200	300					
50%	25%	0.144	0.194	0.228	0.272				
75%	56%	0.152	0.204	0.244	0.288				
100%	100%	0.144	0.214	0.288	0.352				
Rated Output (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
Maximum (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
Minimum (kW)	50	50	100	150	0	0	0	0	0
Rated Output (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
a		0.336	0.192	0.152	0.184				
b		-0.624							
c		0.632							

12. 同様に他の DG の燃料消費率カーブの係数 b,c も算出する

DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (kW)	100	100	200	300					
50%	25%	0.144	0.194	0.228	0.272				
75%	56%	0.152	0.204	0.244	0.288				
100%	100%	0.144	0.214	0.288	0.352				
Rated Output (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
Maximum (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
Minimum (kW)	50	50	100	150	0	0	0	0	0
Rated Output (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
a		0.336	0.192	0.152	0.184				
b		-0.624	-0.412	-0.276	-0.316				
c		0.632	0.654	0.463	0.392				

13. 以上で DG データの入力は終了

## Pattern 2 燃料消費率カーブの係数を直接入力する

※事前に燃料消費率カーブの係数を求めておかなければならない

1. Pattern1 の 1→2→6 の順番で進める
2. 燃料消費率カーブの係数 a,b,c を直接入力する

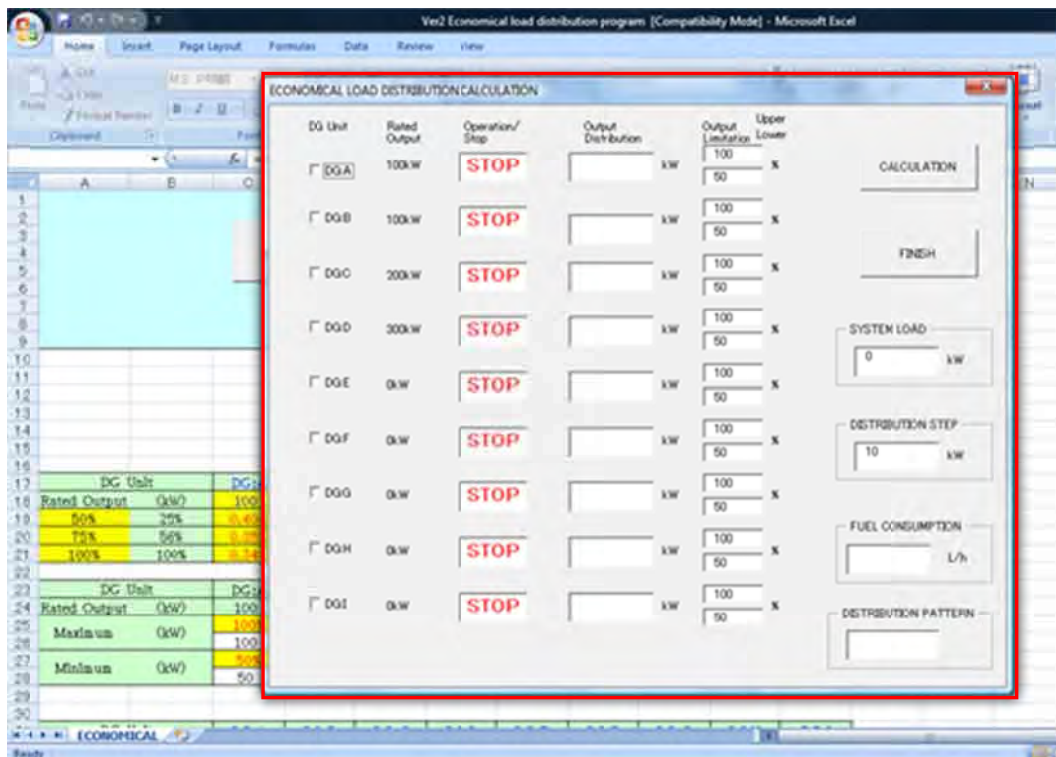
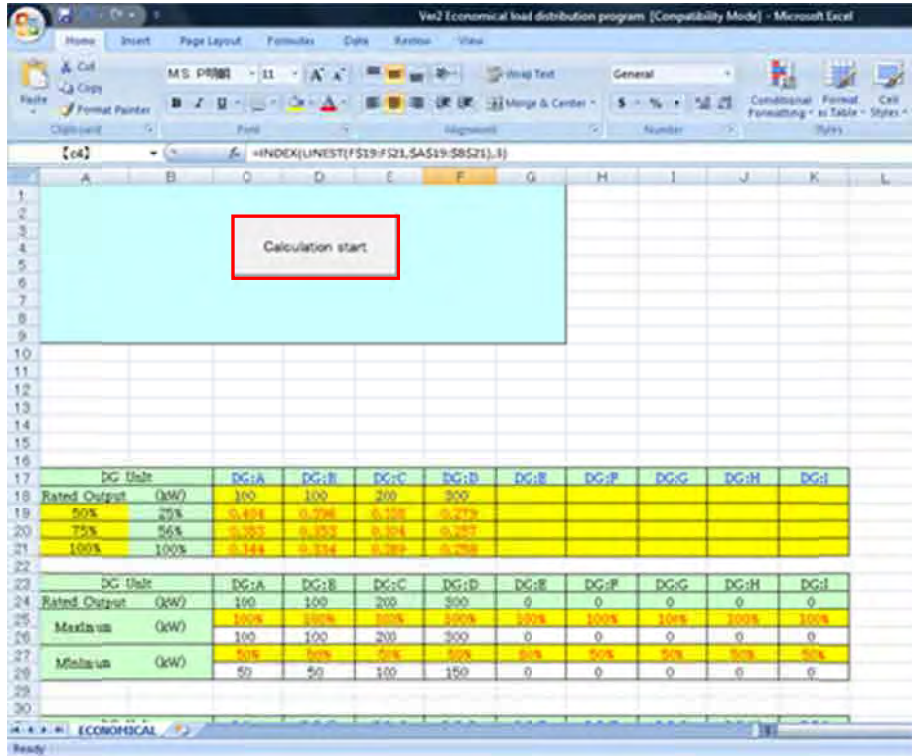
DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (kW)	100	100	200	300					
50%	25%								
75%	56%								
100%	100%								
DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
Maximum (kW)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Minimum (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
Minimum (kW)	50	50	100	150	0	0	0	0	0
DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (kW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
a	0.78	-0.54	0.456	0.316					
b	-1.3122	-0.9514	-0.1972	-0.5228					
c	0.8818	0.7497	0.443	0.4667					

3. 以上で DG データの入力は終了

### ③ 経済負荷配分ソフトの実行

※経済負荷配分ソフトへの DG データの入力の Patter1 ,Pattern2 に関わらず同じである

#### 1. 【Calculation start】 をクリック



2. 運転する DG にチェックを入れる

DG Unit	Rated Output	Operation/ Stop	Output Distribution	Output Limitation	Upper	Lower
<input checked="" type="checkbox"/> DG A	100kW	OPER/		100 50	X	
<input type="checkbox"/> DG B	100kW	STOP		100 50	X	
<input type="checkbox"/> DG C	200kW	STOP		100 50	X	
<input type="checkbox"/> DG D	300kW	STOP		100 50	X	
<input type="checkbox"/> DG E	0kW	STOP		100 50	X	
<input type="checkbox"/> DG F	0kW	STOP		100 50	X	
<input type="checkbox"/> DG G	0kW	STOP		100 50	X	
<input type="checkbox"/> DG H	0kW	STOP		100 50	X	
<input type="checkbox"/> DG I	0kW	STOP		100 50	X	

CALCULATION

FINISH

SYSTEM LOAD  
0 kW

DISTRIBUTION STEP  
10 kW

FUEL CONSUMPTION  
L/h

DISTRIBUTION PATTERN

3. 同様に運転する DG すべてにチェックを入れる

DG Unit	Rated Output	Operation/ Stop	Output Distribution	Output Limitation	Upper	Lower
<input checked="" type="checkbox"/> DG A	100kW	OPER/		100 50	X	
<input checked="" type="checkbox"/> DG B	100kW	OPER/		100 50	X	
<input type="checkbox"/> DG C	200kW	STOP		100 50	X	
<input type="checkbox"/> DG D	300kW	STOP		100 50	X	
<input type="checkbox"/> DG E	0kW	STOP		100 50	X	
<input type="checkbox"/> DG F	0kW	STOP		100 50	X	
<input type="checkbox"/> DG G	0kW	STOP		100 50	X	
<input type="checkbox"/> DG H	0kW	STOP		100 50	X	
<input type="checkbox"/> DG I	0kW	STOP		100 50	X	

CALCULATION

FINISH

SYSTEM LOAD  
0 kW

DISTRIBUTION STEP  
10 kW

FUEL CONSUMPTION  
L/h

DISTRIBUTION PATTERN

4. 次に[SYSTEM LOAD]を入力する

※ここでいう[SYSTEM LOAD]とは系統負荷であるが、系統に他の電源(太陽光発電、風力発電、IPP 等)が連系している場合は DG が供給している分の負荷をいう

DG Unit	Rated Output	Operation/ Stop	Output Distribution	Output Limitation	Upper Lower
<input checked="" type="checkbox"/> DG A	100kW	OPER/		100 50	X
<input checked="" type="checkbox"/> DG B	100kW	OPER/		100 50	X
<input type="checkbox"/> DG C	200kW	STOP		100 50	X
<input type="checkbox"/> DG D	300kW	STOP		100 50	X
<input type="checkbox"/> DG E	0kW	STOP		100 50	X
<input type="checkbox"/> DG F	0kW	STOP		100 50	X
<input type="checkbox"/> DG G	0kW	STOP		100 50	X
<input type="checkbox"/> DG H	0kW	STOP		100 50	X
<input type="checkbox"/> DG I	0kW	STOP		100 50	X

SYSTEM LOAD: 150 kW

DISTRIBUTION STEP: 10 kW

FUEL CONSUMPTION: L/h

DISTRIBUTION PATTERN:

5. 次に[DISTRIBUTION STEP]を入力する

※ここでいう[DISTRIBUTION STEP]とはどのくらいの幅(kW)で DG の出力を変動させるかという値である。

DG Unit	Rated Output	Operation/ Stop	Output Distribution	Output Limitation	Upper Lower
<input checked="" type="checkbox"/> DG A	100kW	OPER/		100 50	X
<input checked="" type="checkbox"/> DG B	100kW	OPER/		100 50	X
<input type="checkbox"/> DG C	200kW	STOP		100 50	X
<input type="checkbox"/> DG D	300kW	STOP		100 50	X
<input type="checkbox"/> DG E	0kW	STOP		100 50	X
<input type="checkbox"/> DG F	0kW	STOP		100 50	X
<input type="checkbox"/> DG G	0kW	STOP		100 50	X
<input type="checkbox"/> DG H	0kW	STOP		100 50	X
<input type="checkbox"/> DG I	0kW	STOP		100 50	X

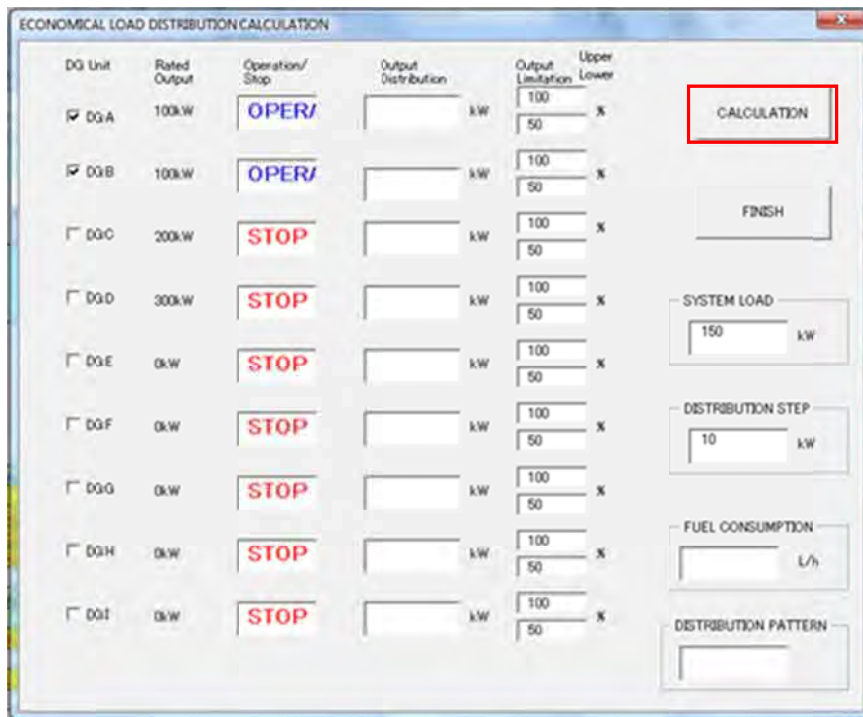
SYSTEM LOAD: 150 kW

DISTRIBUTION STEP: 10 kW

FUEL CONSUMPTION: L/h

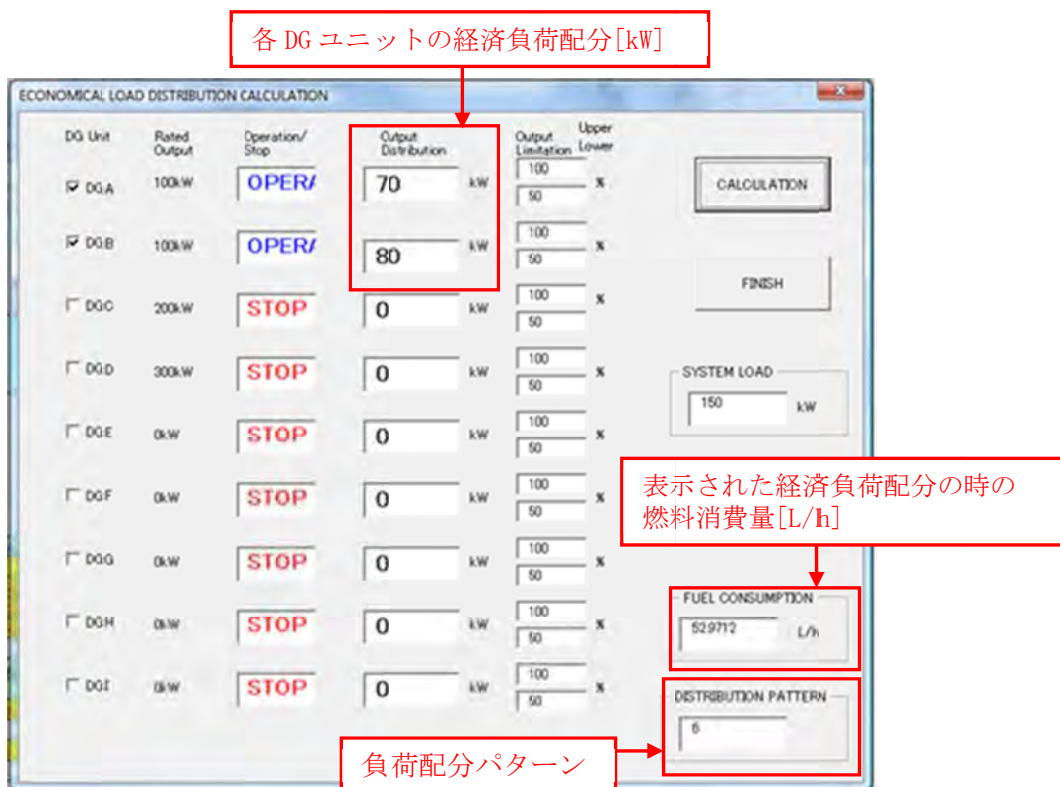
DISTRIBUTION PATTERN:

6. すべての条件の入力が終わったら【CALCULATION】をクリックし、計算をスタートさせる



7. 計算が終わったら、計算結果が表示される

表示される計算結果は、各 DG ユニットの経済負荷配分[kW]、表示された経済負荷配分の時の燃料消費量[L/h],負荷配分パターンの回数の3つである。





④ 経済負荷配分ソフト実行時のエラー

入力条件に誤りがあった場合、計算スタート前、計算スタート後にエラーが発生する

- 1) 入力しない DG ユニットの燃料消費率カーブの係数入力セルに数式が残っている場合のエラー  
 入力しない DG ユニットの燃料消費率カーブの係数入力セルに数式が残っている場合は【Calculation start】をクリックした際に「Run-time error '13': Type mismatch」が表示される。

入力しない DG ユニットの燃料消費率カーブの係数入力セルに数式が残っている場

合

エラー

Run-time error '13': Type mismatch

DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (QW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
50%	25%	0.114	0.138	0.228	0.272				
75%	56%	0.250	0.292	0.314	0.367				
100%	100%	0.344	0.334	0.289	0.288				

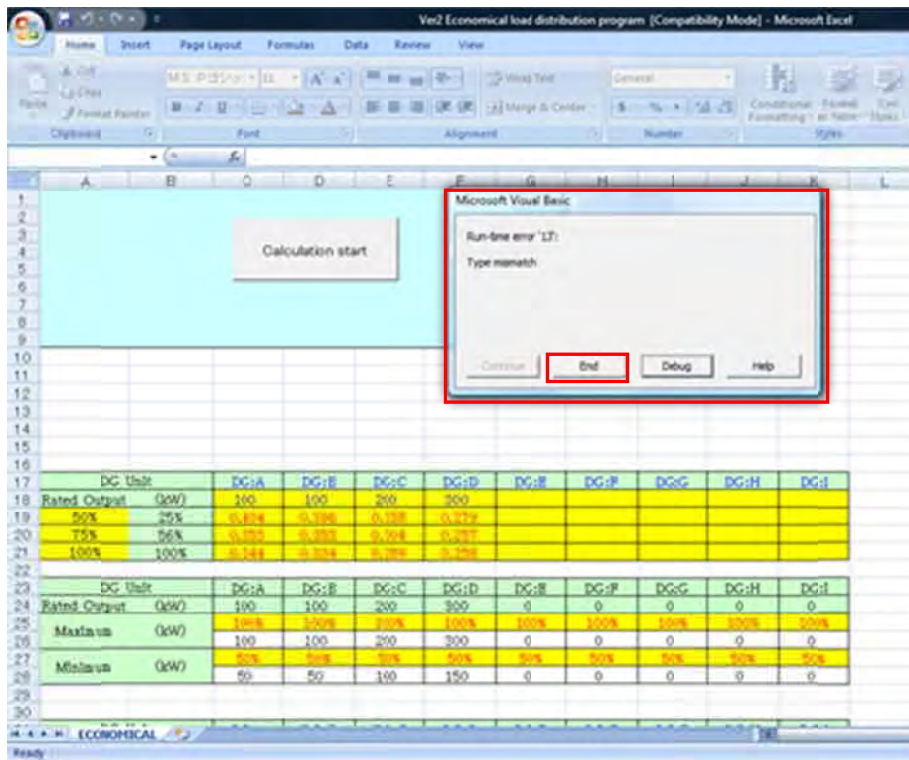
  

DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (QW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
Maxima (QW)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Minima (QW)	50	50	100	150	0	0	0	0	0

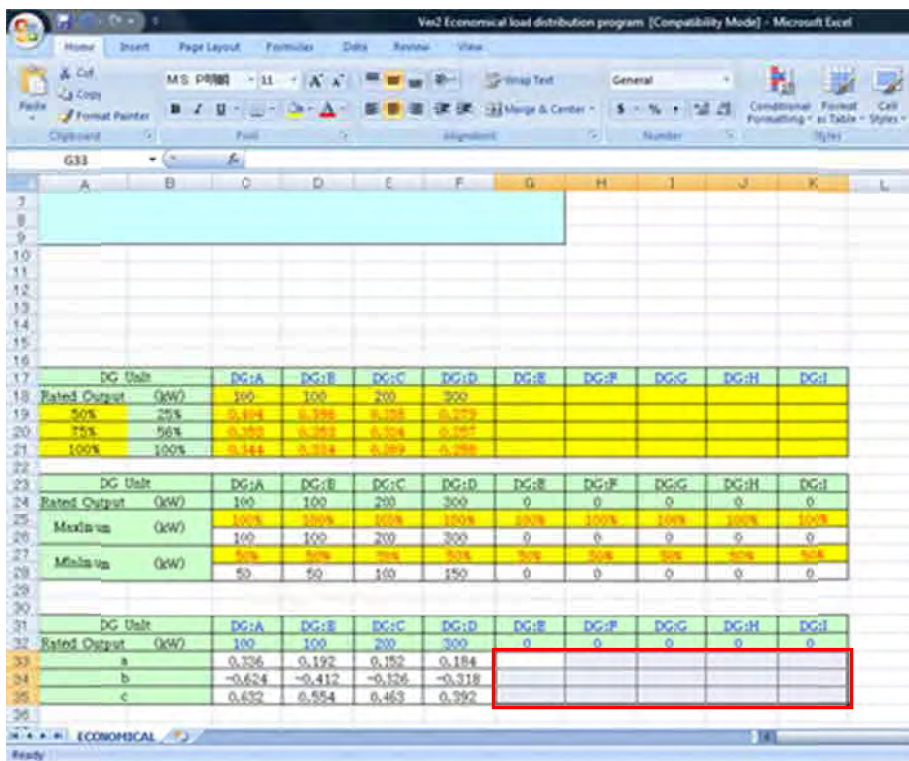
  

DG Unit	DG:A	DG:B	DG:C	DG:D	DG:E	DG:F	DG:G	DG:H	DG:I
Rated Output (QW)	100	100	200	300	0	0	0	0	0
a	0.326	0.192	0.152	0.184	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!
b	-0.624	-0.412	-0.326	-0.318	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!
c	0.632	0.554	0.463	0.392	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!

【End】をクリックし閉じる



改善策として不要な数式は消せばよい。



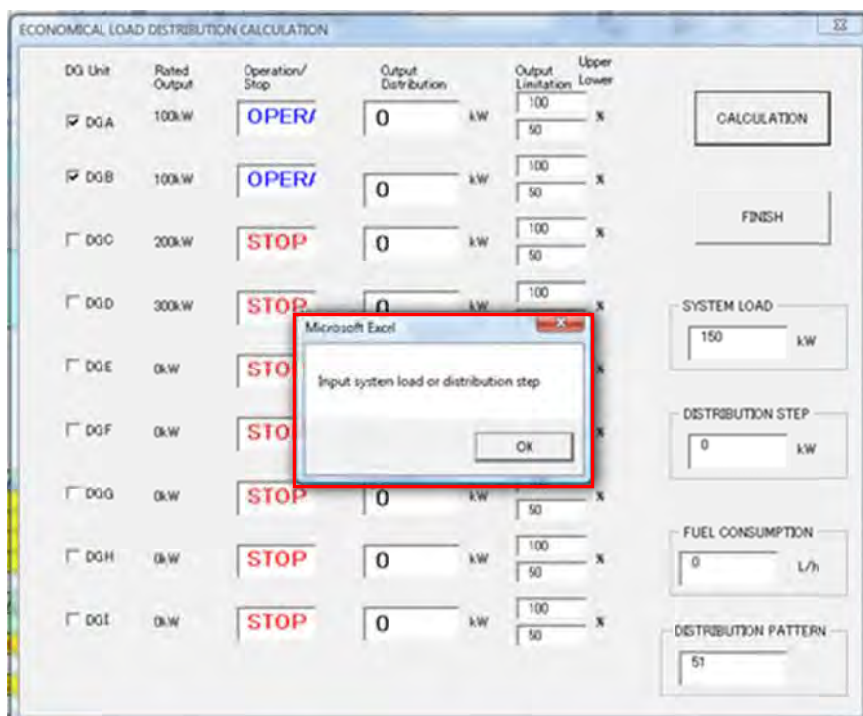
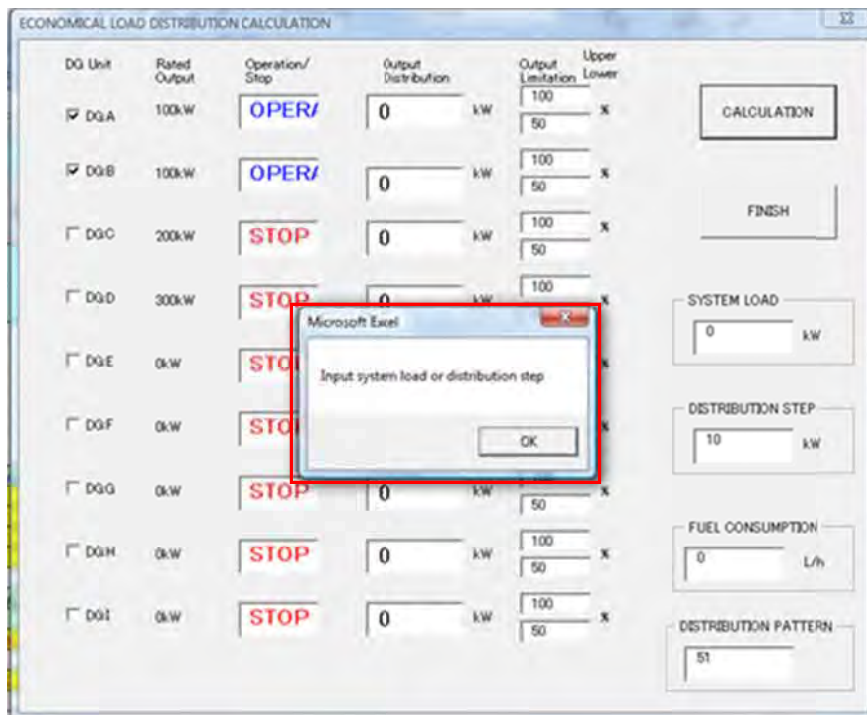
2) 系統負荷及びステップ幅が入力されていない場合のエラー

系統負荷及びステップ幅が入力されていない場合は「Input system load or distribution step」が表示される

「SYSTEM LOAD」 or 「DISTRIBUTION STEP」 未入力

エラー

Input system load or distribution step



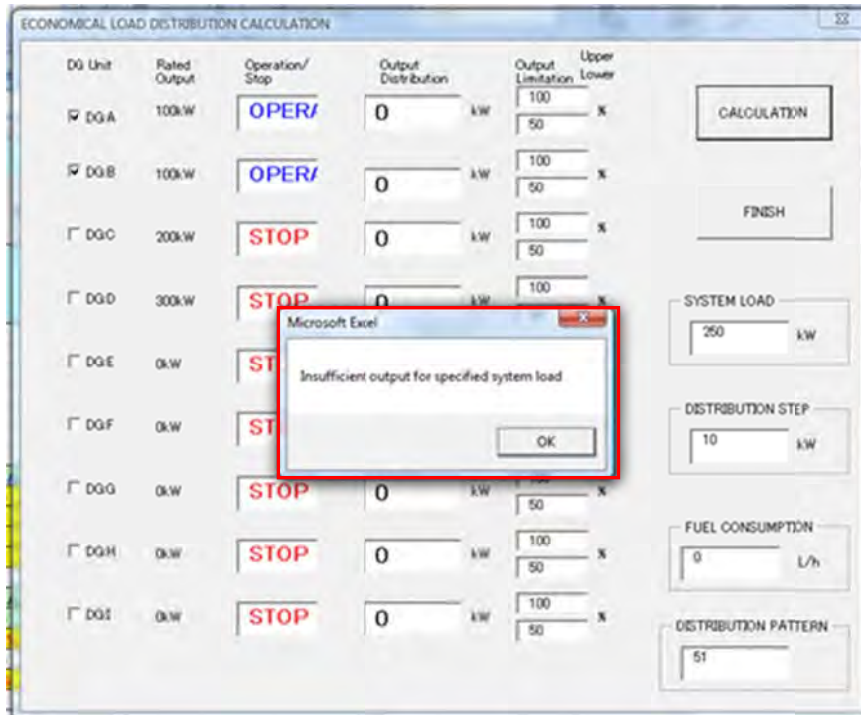
3) 系統負荷に対し発電機合計出力が足りない場合のエラー

系統負荷に対し発電機合計出力が足りない場合は「Insufficient output for specified system load」が表示される

系統負荷 > 発電機合計出力

エラー

Insufficient output for specified system load



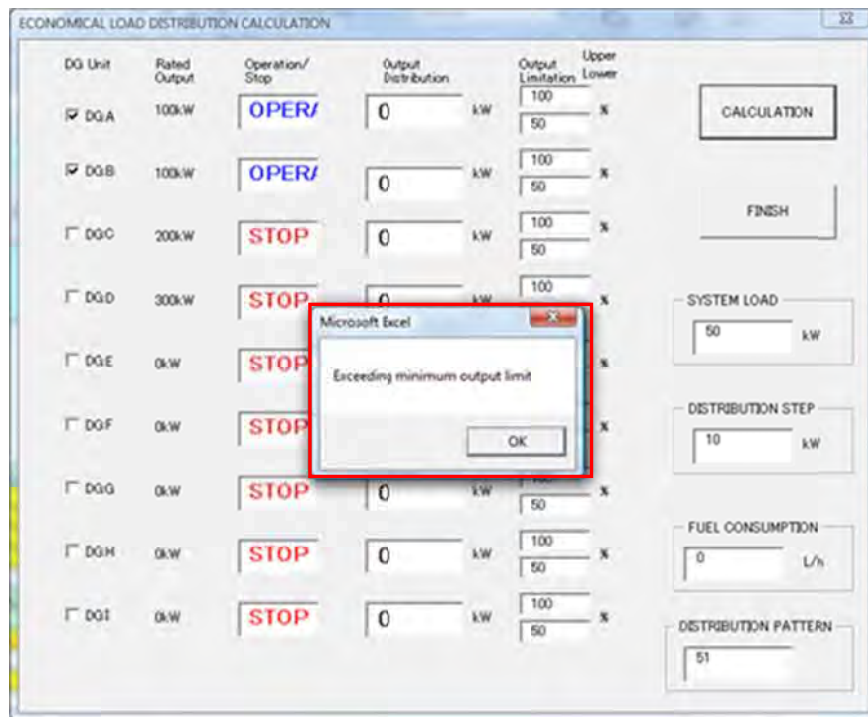
4) 系統負荷が発電機最低出力の合計より低い場合のエラー

系統負荷が発電機最低出力の合計より低い場合は「Exceeding minimum output limit」が表示される

系統負荷 < 発電機最低出力の合計

エラー

Exceeding minimum output limit



⑤ 各入力条件による計算結果の違い

1) 経済負荷配分ソフトへの DG データの入力方法の違いによる計算結果の違い

入力方法については、前述で3点(50%,75%,100%出力)の燃料消費率を入力する方法(Pattern1)と、燃料消費率カーブの係数を直接入力する方法(Pattern2)があることを説明したが、Pattern1では、燃料消費率の3点(50%,75%,100%出力)から Microsoft office Excel の関数により燃料消費率カーブの係数を算出しているのに対し、Pattern2 では4点(25%,50%,75%,100%出力)の値から Microsoft office Excel を用いてグラフを作成し、燃料消費率カーブの係数を求めるため精度としては Pateern2の方がよい。このことにより、Pattern1 と Pattern2 は計算結果の値も多少違う値となってくる。

Pattern 1 3点(50%, 75%, 100%出力)の燃料消費率を入力した場合の計算結果

ECONOMICAL LOAD DISTRIBUTION CALCULATION

DG Unit	Rated Output	Operation/ Stop	Output Distribution	Output Limitation	Upper Lower
<input checked="" type="checkbox"/> DG-A	100kW	<b>OPER/</b>	70 kW	100 50	X
<input checked="" type="checkbox"/> DG-B	100kW	<b>OPER/</b>	80 kW	100 50	X
<input type="checkbox"/> DG-C	200kW	<b>STOP</b>	0 kW	100 50	X
<input type="checkbox"/> DG-D	300kW	<b>STOP</b>	0 kW	100 50	X
<input type="checkbox"/> DG-E	0kW	<b>STOP</b>	0 kW	100 50	X
<input type="checkbox"/> DG-F	0kW	<b>STOP</b>	0 kW	100 50	X
<input type="checkbox"/> DG-G	0kW	<b>STOP</b>	0 kW	100 50	X
<input type="checkbox"/> DG-H	0kW	<b>STOP</b>	0 kW	100 50	X
<input type="checkbox"/> DG-I	0kW	<b>STOP</b>	0 kW	100 50	X

**CALCULATION**

**FINISH**

SYSTEM LOAD: 150 kW

DISTRIBUTION STEP: 10 kW

**FUEL CONSUMPTION: 529712 L/h**

DISTRIBUTION PATTERN: 6

**Pattern 2 燃料消費率カーブの係数を直接入力した場合の計算結果**

ECONOMICAL LOAD DISTRIBUTION CALCULATION

DG Unit	Rated Output	Operation/ Stop	Output Distribution	Output Limitation	Upper Lower
<input checked="" type="checkbox"/> DGA	100kW	OPER/	80 kW	100 50	X
<input checked="" type="checkbox"/> DGB	100kW	OPER/	70 kW	100 50	X
<input type="checkbox"/> DGC	200kW	STOP	0 kW	100 50	X
<input type="checkbox"/> DGD	300kW	STOP	0 kW	100 50	X
<input type="checkbox"/> DGE	0kW	STOP	0 kW	100 50	X
<input type="checkbox"/> DGF	0kW	STOP	0 kW	100 50	X
<input type="checkbox"/> DGG	0kW	STOP	0 kW	100 50	X
<input type="checkbox"/> DGH	0kW	STOP	0 kW	100 50	X
<input type="checkbox"/> DGI	0kW	STOP	0 kW	100 50	X

SYSTEM LOAD: 150 kW

DISTRIBUTION STEP: 10 kW

FUEL CONSUMPTION: 50.88161 L/h

DISTRIBUTION PATTERN: 5

## 2) ステップ幅の違いによる計算結果の違い

ステップ幅が小さいと配分パターンが多くなり、計算時間が長くなるが、精度は高くなる。ステップ幅が大きいと配分パターンが少なくなり、計算が短くなるが、精度は低くなる。しかし、系統負荷は変動するものであり、その変動幅に対して適当なステップ幅にする必要がある。例えば、系統負荷が常に約±50kW 変動しているのに対し、ステップ幅を 10kW にするのは妥当ではなく、ステップ幅 50kW 以上とするのが妥当である。また、運転の調整が 50kW 単位ぐらいでしか調整できないのであれば、ステップ幅を 50kW 以上とする方がよいと考えられる。

### ステップ幅 10kW の場合の計算結果

DG Unit	Rated Output	Operation/Stop	Output Distribution	Output Limitation	Upper Lower
<input checked="" type="checkbox"/> DG A	100kW	OPER/	70 kW	100 50	X
<input checked="" type="checkbox"/> DG B	100kW	OPER/	80 kW	100 50	X
<input type="checkbox"/> DG C	200kW	STOP	0 kW	100 50	X
<input type="checkbox"/> DG D	300kW	STOP	0 kW	100 50	X
<input type="checkbox"/> DG E	0kW	STOP	0 kW	100 50	X
<input type="checkbox"/> DG F	0kW	STOP	0 kW	100 50	X
<input type="checkbox"/> DG G	0kW	STOP	0 kW	100 50	X
<input type="checkbox"/> DG H	0kW	STOP	0 kW	100 50	X
<input type="checkbox"/> DG I	0kW	STOP	0 kW	100 50	X

CALCULATION

FINISH

SYSTEM LOAD  
150 kW

DISTRIBUTION STEP  
10 kW

FUEL CONSUMPTION  
529712 L/h

DISTRIBUTION PATTERN  
5



### ステップ幅 1kW の場合の計算結果

DG Unit	Rated Output	Operation/Stop	Output Distribution	Output Limitation	Upper	Lower
<input checked="" type="checkbox"/> DG-A	100kW	OPER/	74 kW	100	X	50
<input checked="" type="checkbox"/> DG-B	100kW	OPER/	76 kW	100	X	50
<input type="checkbox"/> DG-C	200kW	STOP	0 kW	100	X	50
<input type="checkbox"/> DG-D	300kW	STOP	0 kW	100	X	50
<input type="checkbox"/> DG-E	0kW	STOP	0 kW	100	X	50
<input type="checkbox"/> DG-F	0kW	STOP	0 kW	100	X	50
<input type="checkbox"/> DG-G	0kW	STOP	0 kW	100	X	50
<input type="checkbox"/> DG-H	0kW	STOP	0 kW	100	X	50
<input type="checkbox"/> DG-I	0kW	STOP	0 kW	100	X	50

SYSTEM LOAD: 150 kW

DISTRIBUTION STEP: 1 kW

FUEL CONSUMPTION: 5294851 L/h

DISTRIBUTION PATTERN: 51

#### (5) 経済負荷配分ソフトを使用する上での注意事項

- 経済負荷配分ソフトは燃料消費率が核となるソフトであり、燃料消費率が不明な場合は利用することができない
- DG のデータ入力画面では、黄色の範囲以外のセルは変更してはいけない
- DG の台数は 9 台が限界である

### ③ディーゼル発電機の適切な保守、メンテナンス方法

# ディーゼル発電機のメンテナンスについて

## 1. ディーゼル発電機の保守・メンテナンス方法

### 1 ディーゼル機関の点検の概要

ディーゼル機関の運用における点検の主な目的は信頼、長寿命そして良好なパフォーマンスの維持である。

運用時での出力範囲、運用時間、周囲環境の温度、湿度、ほこり等はディーゼル機関に悪影響を及ぼす可能性がある。この影響を防ぐために点検が必要である。

### 1.1 点検の目的

(1) ディーゼル発電機の効率的及び長期的な運用。

- 適切な点検を行うことで、ディーゼル機関及び発電機の長寿命を図る。
- ディーゼル機関を適切な状態に保つことで、良好な燃料消費率の維持を図る。
- ディーゼル機関を適切な状態に保つことで、安全性を維持し、適切な運用を行う。

(2) 運用費の削減

適切なメンテナンスは効率的な運用、従って効率的な燃料及び潤滑油の消費につながる。

### 1.2 点検の実施

#### (1) 実施方法

日常点検は発電所運転員が実施できるが、部分点検や中間点検、オーバーホール点検は専門の技術者による点検が必要となる。

専門の技術者とは、点検に必要な知識、経験、資機材を有するディーゼル機関メーカーやメンテナンス業者などを言う。

#### (2) 点検計画

点検は運用時間に応じてメーカーマニュアルなどで定めている。

日常点検の記録分析や補修工事及び交換部品の状況に応じて計画的に実施することが望ましい。

## 2 ディーゼル機関の点検種類及び間隔

### 2.1 点検種類

ディーゼル機関の運転時間に応じて、点検の種類及び内容は異なり、以下のような種類がある。

- (1) 日常点検
- (2) 部分点検
- (3) 中間点検
- (4) オーバーホール点検

## 2.2 点検間隔

各点検は、下表に示す周期で行うことが望ましい。

但し、需要の動向の変動又は事故による長期停止が発生した場合等は、この限りではない。なお、附属機器のうち共通設備はディーゼル発電所の主要な機関の定期点検時に実施することが望ましい。

表 2-1 点検間隔例

	種類	通常機 (1000rpm 未満)	高速回転機 (1000rpm 以上)
1	日常点検	2 or 3 times/day	2 or 3 times/day
2	部分点検	4,000 hrs 12,000 hrs	
3	中間点検	8,000 hrs	4,000 hrs
4	オーバーホール点検	16,000 hrs	8,000 hrs

## 3 日常点検

運用時間及び周囲環境によってメーカ指定運用パラメータが変化し発電効率が低下する。

適切な運用を維持するためそのパラメータを日常点検で確認する必要がある。その設定値が許容範囲内であることを確認し、外れた時に原因を特定し補修工事を計画できる。

### 3.1 日常点検のチェックシート

可能な限り各ユニットの日常点検チェックシートを作成し、日常点検を実施する。

日常点検チェックシートの内容は一般、燃料系統、潤滑油系統、冷却水系統、空気系統、蒸気系統に種別すれば管理がしやすくなる。

表 3-1～表 3-7 に出力 250KW のディーゼル発電機の設定値チェックシートの例を示す。

### 3.2 ディーゼル発電所プラントシステムの概要

図 3-1～図 3-6 にディーゼル発電所のシステム系統図を示す。

一般的にディーゼル発電所は 5 つのシステムで構成され、各システムはエンジンに必要なユーティリティを提供する。(燃料、潤滑油、冷却水、空気及び蒸気)

但し、ディーゼル機関の種類によって空気及び蒸気が必要でない場合もある。スタータ用の空気モーターや A 重油、軽油などを使用する場合は、空気系統及び蒸気系統の必要はない。

表 3-1 日常点検のチェックシート(一般監視項目)

Daily inspection check sheet (General inspection)						
Date 2011, June 11st						
POWER STATION DG No.01 (☑run ☐stop)						
inspection item	parameter	inspection hour				
		LAST DATA				
1	Power house temperature	40°C				
2	Output	≤250kW				
3	Diesel Engine (sound, vibration, odour, oil leak, cooling water leak, etc.)	visual check				
4	Turbocharger air filter	visual check				
5	Lubricating oil cleaner	visual check				
6	Generator(sound・odour・vibration)	visual check				
7	Meter set board	visual check				
8	Continuous current power device	visual check				
9	Primary cooling water expansion tank level	visual check				
10	A class heavy oil service tank level	visual check				
11	A class heavy oil circulation tank	visual check				
12	Radiator body or clean tower	visual check				
13	Exhaust gas facilities(chimney/ silencer)	visual check				
14	Oil pipe line	visual check				
15	Cooling water pipe line	visual check				
16	Lubricating oil pipe line	visual check				
17	Mist pipe line	visual check				
18	Generator control board	visual check				
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
REMARKS ・abnormality ・reparation		inspector name				
		responsible				

表 3-2 日常点検のチェックシート(燃料油/潤滑油)

Daily inspection check sheet (Fuel oil / Lubricant oil)						
Date 2011, June 11st						
POWER STATION DG No.01 ( <input checked="" type="checkbox"/> run <input type="checkbox"/> stop)						
inspection item		parameter	last data	inspection hour		
1	Power house temperature	40°C				
2	Output	≦250kW				
3						
4						
5						
Fuel Oil						
1	Fuel oil pressure	0.2~0.3 Mpa				
2	Injection valve pressure	0.06~0.12 MPa				
3						
4						
5						
Lubricant Oil						
1	Lubricating oil system pressure	>0.27MPa				
2	Lubricant oil system DG outlet temperature	≧115°C				
3	CJC filter diferencial pressure	≦0.15MPa				
4	Lubricant oil intercooler oil inlet temperature	<75°C				
5	Lubricant oil intercooler oil outlet temperature	<65°C				
6						
REMARKS		inspector name	last data			
-abnormality -reparation						
		responsible				

表 3-3 日常点検のチェックシート(冷却水系統)

Daily inspection check sheet (cooling system)						
Date 2011, June 11st						
POWER STATION DG No.01 ( <input checked="" type="checkbox"/> run <input type="checkbox"/> stop)						
inspection item		parameter	inspection hour			
			前回データ			
1	Power house temperature	40℃				
2	Output	≤250kW				
<b>Cooling water</b>						
1	Primary cooling water pressure	>0.1MPa				
2	Primary cooling water inlet temperature	≤90℃				
3	Primary cooling water outlet temperature	≤90℃				
4	Radiator inlet cooling water temperature	≤80℃				
5	Radiator outlet cooling water temperature	≤75.5℃				
6	Primary cooling water jacket pressure	0.15~0.25 Mpa				
7	Cylinder outlet cooling water temperature-1	<90℃				
8	Cylinder outlet cooling water temperature-2	<90℃				
9	Cylinder outlet cooling water temperature-3	<90℃				
10	Cylinder outlet cooling water temperature-4	<90℃				
11	Cylinder outlet cooling water temperature-5	<90℃				
12	Cylinder outlet cooling water temperature-6	<90℃				
13	Fresh water intercooler /primary cooling water inlet temperature	≤90℃				
14	Fresh water intercooler /primary cooling water outlet temperature	≤90℃				
15	Fresh water intercooler / secondary cooling water inlet temperature	<50℃				
16	Fresh water intercooler / secondary cooling water outlet temperature	<50℃				
17	Secondary cooling water cooler pressure	1~3 Mpa				
18	Air intercooler / secondary cooling water inlet temperature	<45℃				
19	Air intercooler / outlet secondary cooling water temperature	<50℃				
20	Lubricant oil intercooler / secondary cooling water inlet temperature	<50℃				
21	Lubricant oil intercooler / secondary cooling water outlet temperature	<50℃				
22	Air intercooler / outlet secondary cooling water temperature	<50℃				
23						
REMARKS <input type="checkbox"/> abnormality <input type="checkbox"/> reparation		inspector name				
		responsible				

表 3-4 日常点検のチェックシート(空気/蒸気/排気ガス)

Daily inspection check sheet (air/steam/exhaust gas)						
Date 2011, June 11st						
POWER STATION DG No.01 ( <input checked="" type="checkbox"/> run <input type="checkbox"/> stop )						
inspection item	parameter	inspection hour				
		last data				
<b>Air system</b>						
1	Air pressure	0.02~0.14 MPa				
2	Turbocharger inlet temperature	<55°C				
3	Turbocharger revolutions	39000rpm				
<b>Steam / Exhaust gas system</b>						
1	Exhaust gas temperature	<520°C				
2	Exhaust gas temperature -1	<500°C				
3	Exhaust gas temperature -2	<500°C				
4	Exhaust gas temperature -3	<500°C				
5	Exhaust gas temperature -4	<500°C				
6	Exhaust gas temperature -5	<500°C				
7	Exhaust gas temperature -6	<500°C				
8	Turbocharger exhaust gas temperature No.1・2・3	440°C				
9	Turbocharger exhaust gas temperature No.1・2・4	440°C				
10	Steam pressure	0.3Mpa				
<b>REMARKS</b> • abnormality    • reparation		inspector name				
		responsible				



表 3-5 日常点検のチェックシート(発電機)

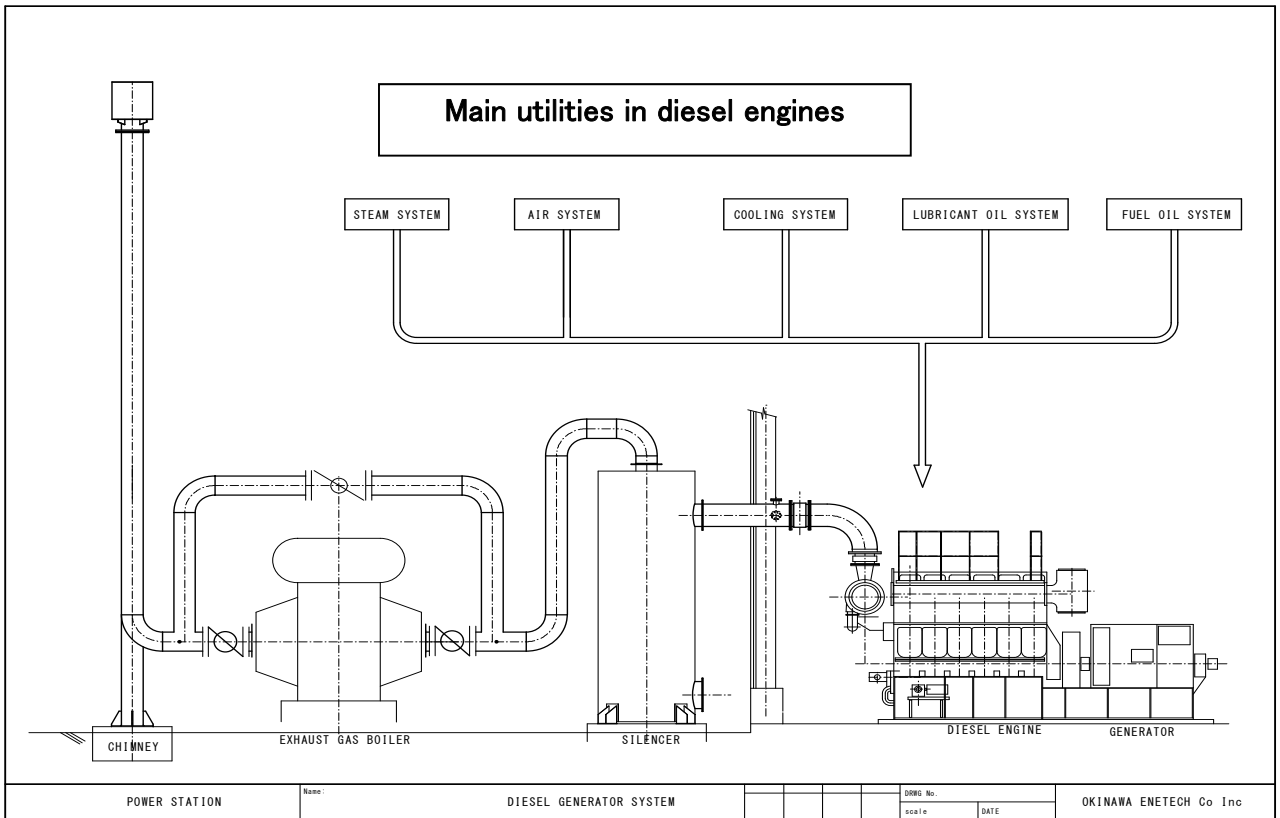
Daily inspection check sheet (Generator)							
Date 2011, June 11st							
POWER STATION DG No.01 ( <input checked="" type="checkbox"/> run <input type="checkbox"/> stop)							
inspection item		parameter	inspection hour				
			last data				
1	Power house temperature	40°C					
2	Output	≤250kW					
<b>Generator</b>							
3	Generator shaft bearing temperature	<95°C					
4	Generator stator winding temperature (U)	≤140°C					
5	Generator stator winding temperature (V)	≤140°C					
6	Generator stator winding temperature (W)	≤140°C					
7	Continuos current voltage	25.5~28v					
8							
30							
31							
REMARKS   ・abnormality   ・reparation		inspector name					
		responsible					

表 3-6 日常点検のチェックシート(発電機出力)

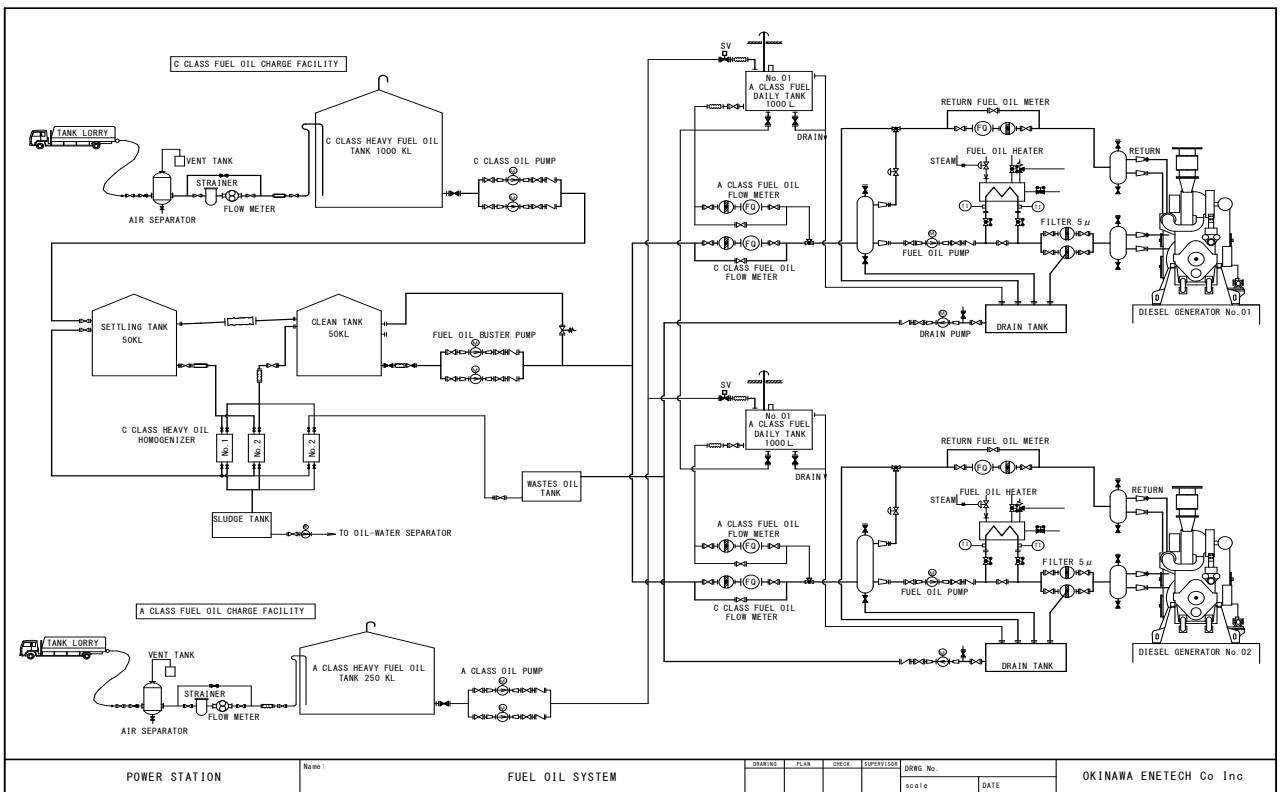
Generator / Power internal consume Diary														
POWER STATION DG No.XX (■run □stop)														
DATE	Operation shift	Generator											Remarks	
		measure	Load	Current ( A )			Voltage ( V )			cos φ	Excitator			
		hour	kW	R	S	T	R·S	S·T	T·R	%	A	V		
DATE	—	—												—
year 2011	1shift	:												
month 06	2shift	:												
day 11	3shift	:												
year	1shift	:												
month	2shift	:												
day	3shift	:												
year	1shift	:												
month	2shift	:												
day	3shift	:												
year	1shift	:												
month	2shift	:												
day	3shift	:												

表 3-7 日常点検のチェックシート(送電線)

Transmission Line Diary																	
POWER STATION																	
Parameter	勤務体制	測定時刻	Voltage ( V )			( F 1 ) Line			( F 2 ) Line			( F 3 ) Line					
			R・S	S・T	T・R	Active Power	Current ( A )		Active Power	Current ( A )		Active Power	Current ( A )				
			6400~ 6800	6400~ 6800	6400~ 6800	≤320	≤32	≤32	≤32	≤320	≤32	≤32	≤32	≤320	≤32	≤32	≤32
year	1shift	08:00															
month	2shift	14:00															
day	3shift	20:00															
year	1shift	08:00															
month	2shift	14:00															
day	3shift	20:00															
year	1shift	08:00															
month	2shift	14:00															
day	3shift	20:00															
year	1shift	08:00															
month	2shift	14:00															
day	3shift	20:00															



☒ 3-1 Diesel generator system



☒ 3-2 Fuel oil system

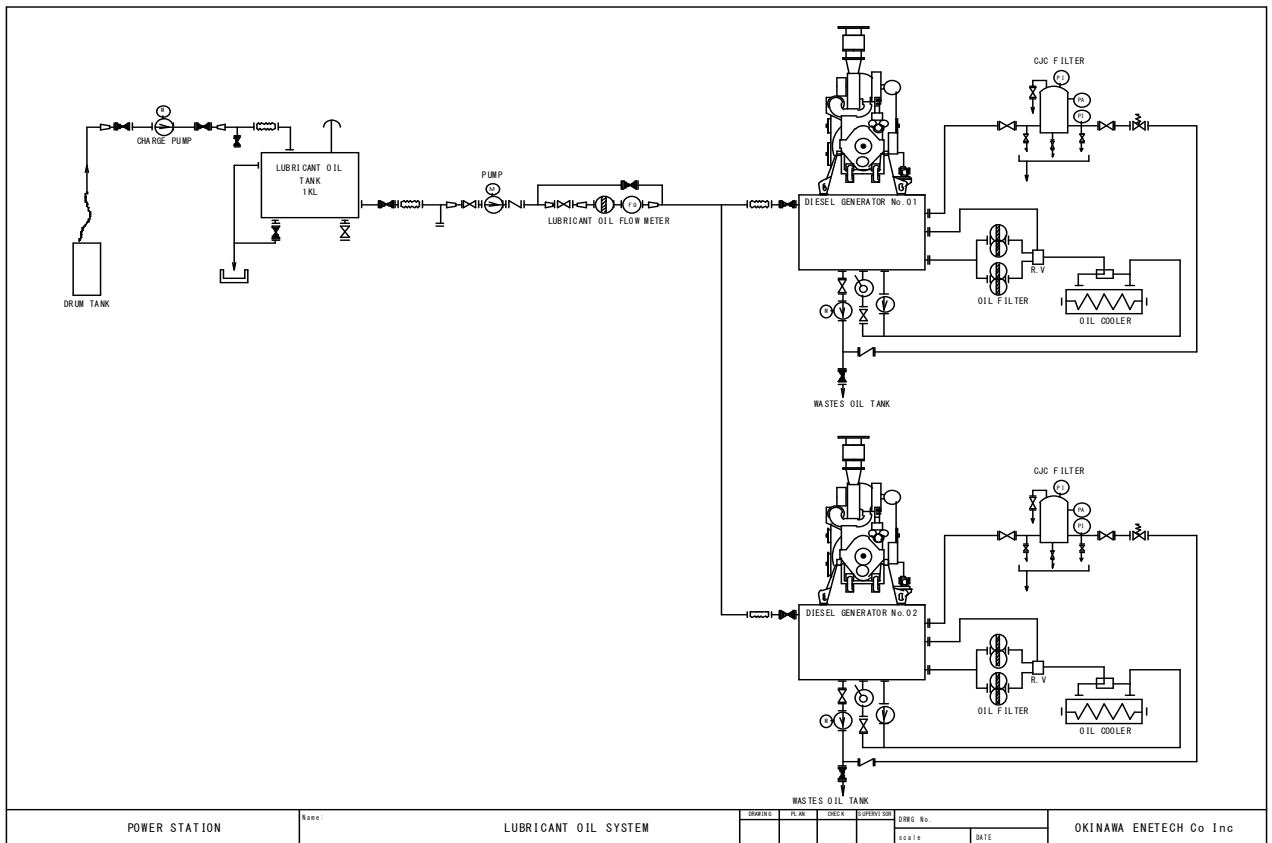


図 3-3 Lubricant oil system

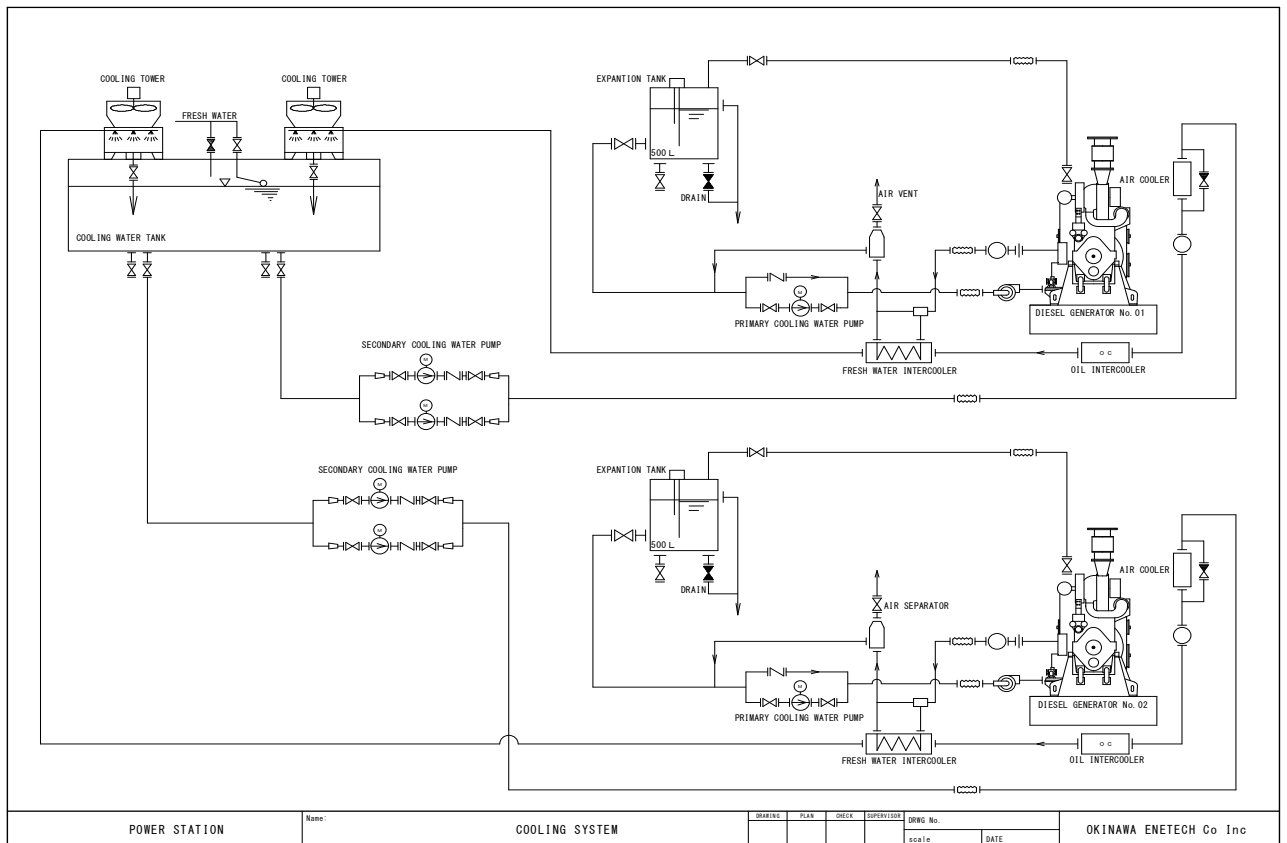
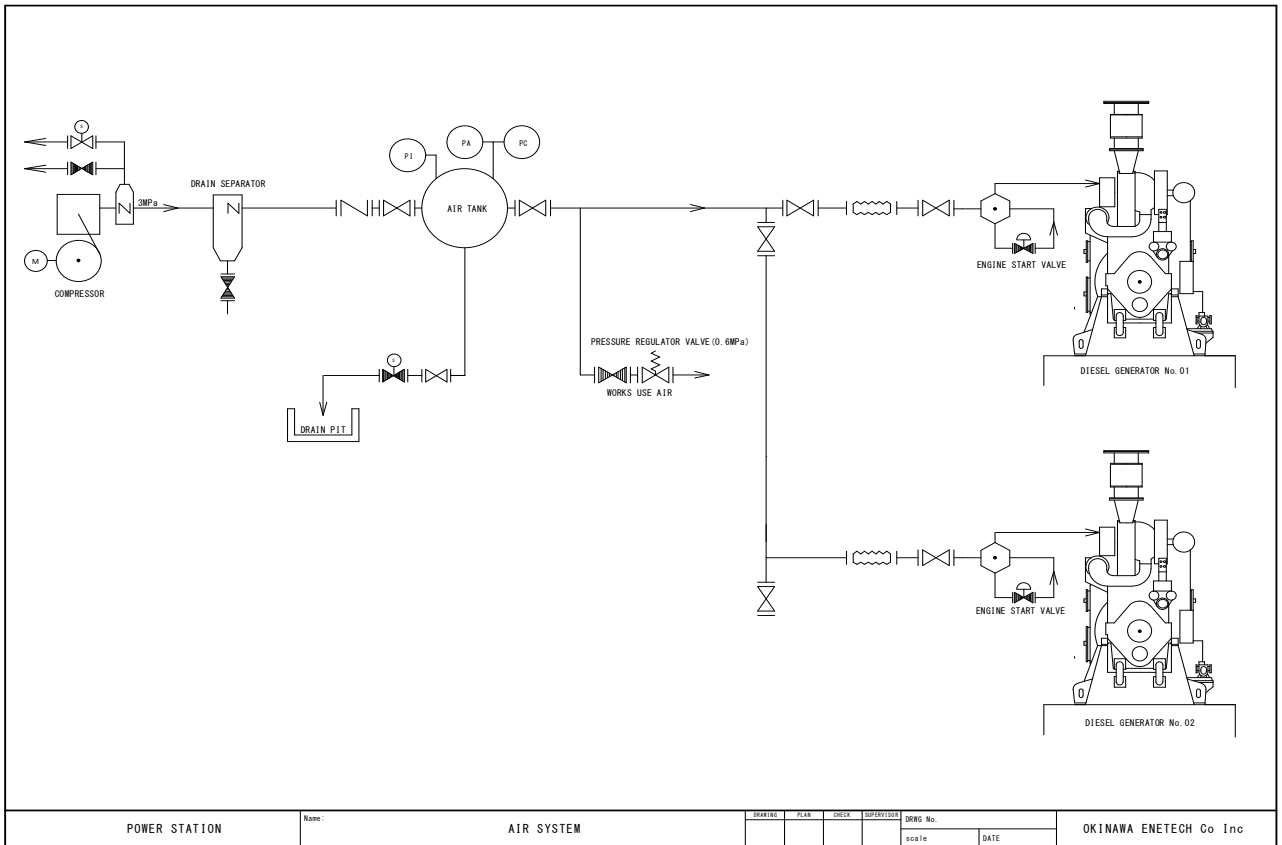
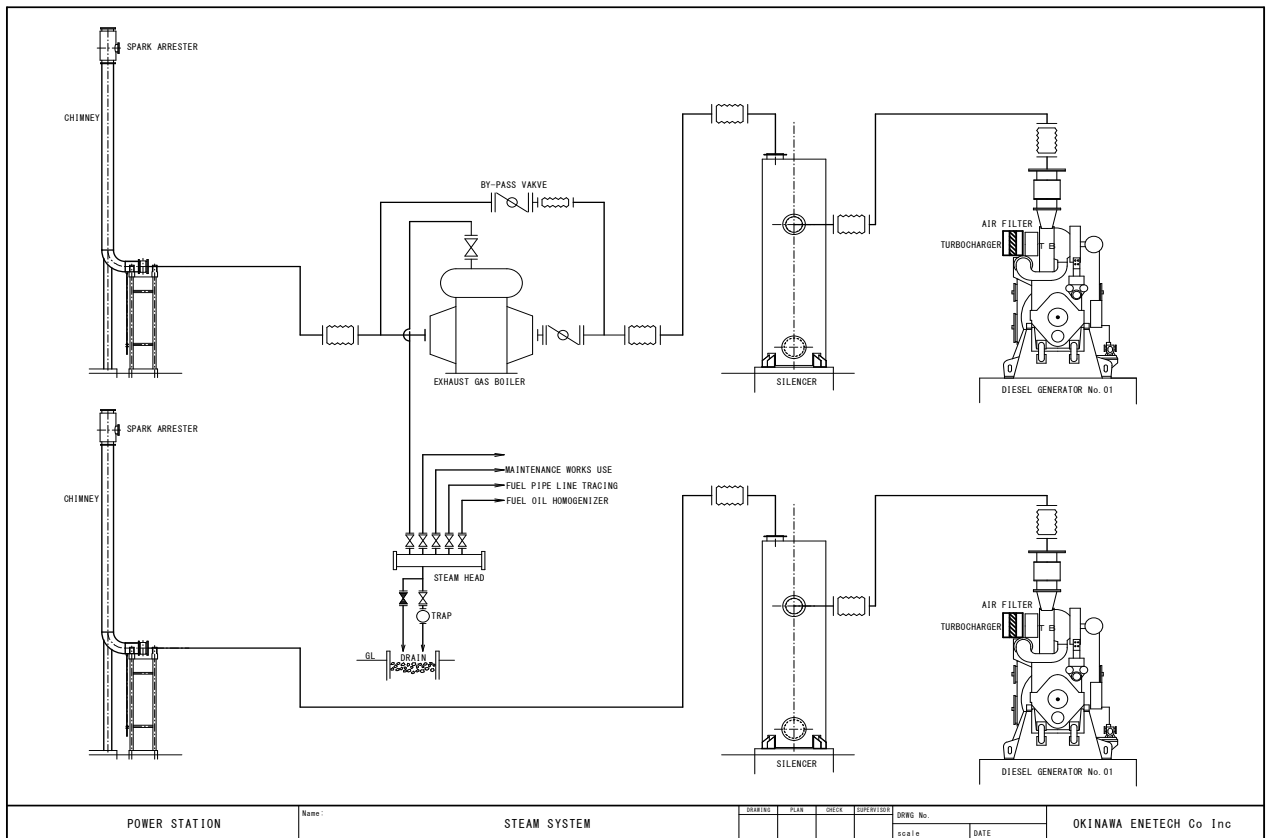


図 3-4 Cooling system



☒ 3-5 Air system



☒ 3-6 Steam system

## DIESEL GENERATORS FACILITIES

- General



1000kw Class DG



(Running parameter meters board)



4000kw Class DG



300kw class DG

- Fuel oil system



Fuel receiving facilities  
(air separator, filter, and flow meter)



Fuel storage tank (C class heavy oil)



Fuel dispatching pump



Settling (left) & Clean tank (right)



C Class heavy oil homogenizer



Fuel oil buster pump



Fuel oil equipment



A Class and C class fuel oil meter, mixer and heater





C Class heavy oil flow meter



C Class heavy oil heater



C Class heavy oil filter



A Class heavy oil daily tank



Diesel engine governor



Wastes oil drain tank

- Lubricant oil system



Lubricant oil storage tank



Lubricant oil CJC filter



Lubricant oil cooler



Lubricant oil filter (left side)

- Cooling system



Cooling tower (2000KW Class)



Cooling tower (1000KW Class)



Cooling tower (2500KW Class)



Secondary cooling water pump



Fresh water intercooler / Primary cooling water pump



Expansion tank



Lubricant oil intercooler



Cylinders head cooling water line

- Air system



Air tank



Air compressor

- Steam / Exhaust gas



Exhaust gas boiler



Exhaust gas boiler collector



Exhaust gas boiler



Steam head



Turbocharger



Generator



Silencer



DG Control board

#### 4 部分点検、中間点検及びオーバーホール点検

##### 4.1 点検内容

ディーゼル機関本体及び附属機器の部品の交換は原則として点検種別ごと各機別に定めた交換基準によって行う。この場合、交換基準以外の部品でも不良個所(亀裂、傷、嵌合不良)を発見したときは、修正又は取替えを行う。

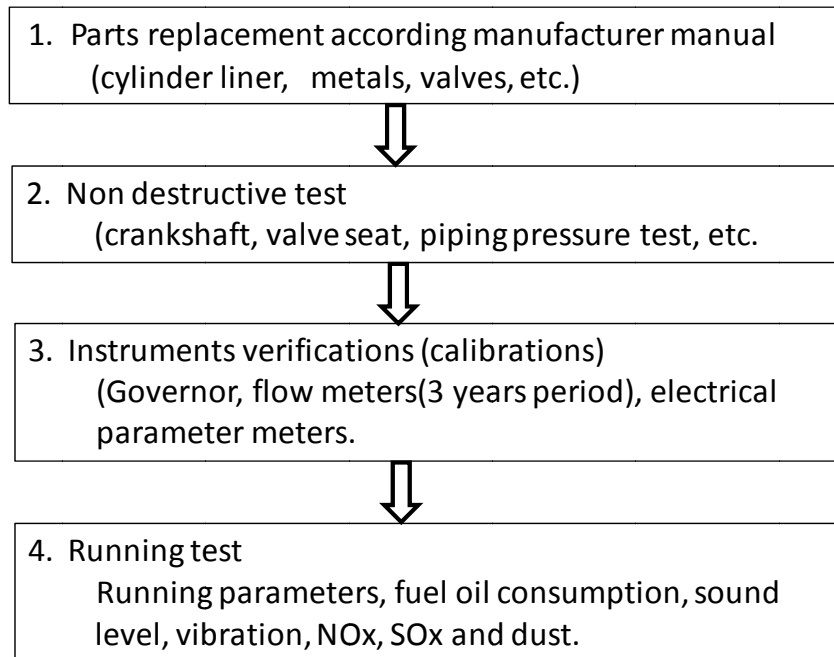
ディーゼル機関本体及び附属機器の点検項目を以下に示す。

INSPECTION ITEMS		PARTIAL	MIDTERM	OVERHAUL
<b>General items</b>				
1	Verification before dismantling	○	○	○
2	Inspection of auxiliary components	○	○	○
3	Record operation status before disassembly	○	○	○
4	Curing before disassembly	○	○	○
5	Structure		○	○
<b>Cylinder head parts</b>				
1	Cylinder cover	○	○	○
2	Air intake valves	○	○	○
3	Exhaust valves	○	○	○
4	Fuel injection valve	○	○	○
5	Start-up valve	○	○	○
6	Intake / exhaust pipes	○	○	○
<b>Cylinder body</b>				
1	Cylinder safety valve	○	○	○
2	Cylinder liner			○
3	Piston rings		○	○
4	Piston head skirt and piston pins		○	○
<b>Crankshaft</b>				
1	Crankshaft	○	○	○
2	Crank room internal inspection	○	○	○
3	Crank pin metal and connecting rods		○	○
4	Crank pin metal connecting rods		○	○
5	Main metals		○	○
6	Cam and cam metals	○	○	○
<b>Control system</b>				
1	Controlling device	○	○	○
2	Governor	○		○
3	Governor assembly unit		○	○
4	Start-up device			○
5	Main air starting valve	○	○	○
6	Lubrication oil temp control valve	○	○	○
7	Fuel oil temp control valve	○	○	○

INSPECTION ITEMS		PARTIAL	MIDTERM	OVERHAUL
<b>Auxiliary devices</b>				
1	Turbocharger	○	○	○
2	Lubricant oil priming pump	○	○	○
<b>Fuel oil system</b>				
1	Fuel oil related pumps	○	○	○
2	Fuel oil temp control valve	○	○	○
3	Fuel oil filters	○	○	○
4	Fuel oil heater		○	○
5	Daily tank			○
6	Fuel oil piping			○
<b>Lubricant oil system</b>				
1	Lubrication related pumps			○
2	Filters	○	○	○
3	Lubrication oil tank			○
4	Lubricant oil piping			○
<b>Cooling system</b>				
1	Primary cooling pump		○	○
2	Secondary cooling pumps		○	○
3	Seawater pumps			○
4	Seawater filter	○	○	○
5	Secondary water intercooler	○	○	○
6	Check valve (non-return valve)		○	○
7	Pure water intercooler	○	○	○
8	Lubricant oil intercooler	○	○	○
9	Supercharger lubrication oil intercooler	○	○	○
10	Air intercooler			○
11	Cooling water expansion tank	○	○	○
12	Cooling system piping			○
<b>Air•Steam•Exhaust gas system</b>				
1	Compressor		○	○
2	Air tank	○	○	○
3	Air piping		○	○
4	Exhaust gas boiler(safety valve)	○	○	○
5	Exhaust gas duct		○	○

## 4.2 オーバーホール点検の概要

オーバーホール点検に行われる主な作業は以下のフローに示す。



### 1. Parts inspections and replacement

(cylinder liner, metals, pumps, etc.)



Cylinder liner



Lubricant oil pump



Turbocharger



Cooling water pump



## 5 点検で用いられる技術

### 5.1 非破壊検査

#### (1) 放射線撮影検査(RT)

放射線撮影試験は X 線やガンマ線が物質を透過するという特性を利用する試験方法であり、溶接部を検査するのに利用される。

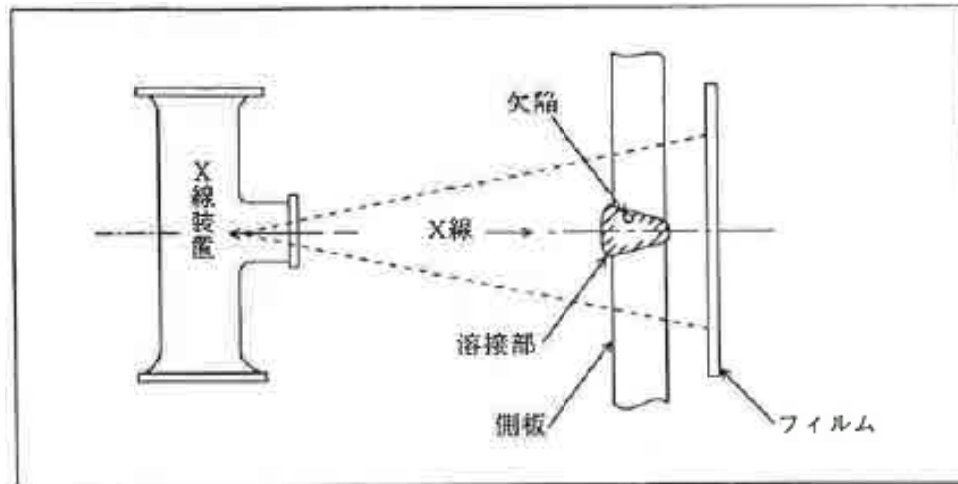


表 5-1 放射線撮影検査(RT)

#### (2) 磁気粒子検査 (MT)

試験対象物が磁界にさらされると、表面に傷がある場合は磁界に干渉することから磁束が局部的にひずみを起こし、磁束が試験対象物の表面から漏れ出て減少する。微小な磁気粒子を試験対象物の表面に塗布すると、磁束漏れを起こした部分に引きつけられるため、傷を目視で確認することができる。

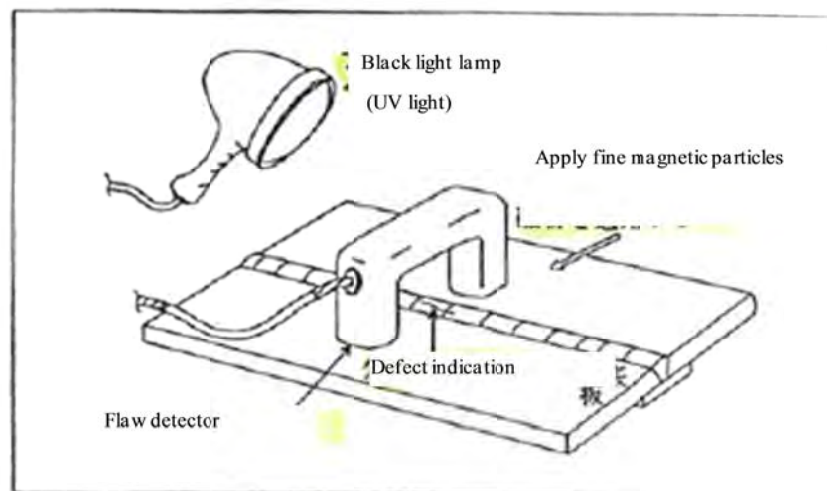


表 5-2 磁気粒子検査(MT)

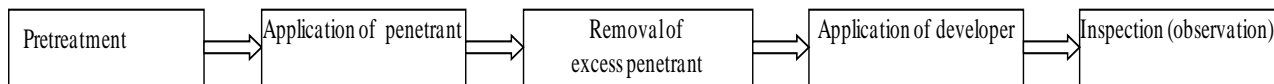
磁気粒子（通常は蛍光粒子の水溶液）は試験対象物に塗布され、磁界にさらされると、傷の存在する箇所の磁束が局部的に歪むことによって、磁束が漏れ出る箇所に引きつけられる。しかし、割れ目が磁界と並行している場合は磁界の擾乱が少ないため、傷の探査は難しい場合がある。そのため、対象となる面に対して 90°に交差する二方向から検査を行うことを推奨する。

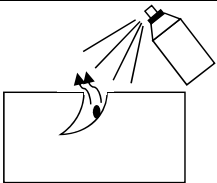
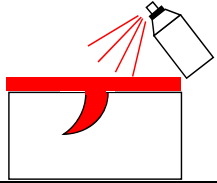
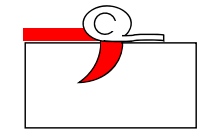
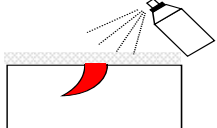
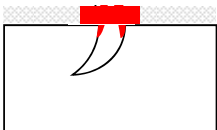
### (3) 浸透探傷試験(PT, DPI)

表面に開口している欠陥に液体が浸透する現象を利用し、表面欠陥を検出する試験である。PT 検査あるいはカラーチェックともいう。

物体の表面に浸透力の強い浸透液を塗布し、表面開口欠陥に十分浸み込ませた後、表面の浸透液を除去し、現像剤によって欠陥内部に浸み込んだ浸透液を吸い出し、欠陥の存在とおおよその大きさを知ることができる。

#### 浸透探傷試験の手順



Procedure	Image figure	Contents
前処理		洗浄液を被検査物表面にスプレーし、乾いたウエス等で拭き取り、表面の油脂、汚れ等を除去する。その後、十分に乾燥させる。
浸透処理		洗浄された被検査物表面に浸透液をスプレーし、塗布すると強力に欠陥部に浸透する。充分浸透させるため 3~15 分放置する。
洗浄除去		被検査物表面の過剰の浸透液を乾いたウエス等で除去する。洗浄液を別のウエス等にスプレーして完全に拭き取る。
現像処理		現像液を被検査物から 20~30cm 離して薄く均一に塗布する。
観察		明るい場所で被検査物を観察する。クラック(傷)があれば鮮明な赤色で指示される。通常、現像時間は 10~30 分程度である。

#### 浸透探傷試験の例



## 5.2 Running test inspection

Running parameters, fuel oil consumption, sound, level, vibration, NOx, SOx and dust.



Exhaust gas NOx measurement



Sound level measurement



Engine vibration measurement

<参考資料>

日本におけるディーゼル機関本体及び附属機器の定検項目の例を以下に示す。

点検項目	部分	中間	総分解
(1)解体前確認			
①始動状況	○	○	○
②振動、異音、洩油水：有無の点検	○	○	○
③給排気弁：ロートキャップ回転	○	○	○
(2)補機点検			
①カップリング、ボルト点検	○	○	○
②洩油水、振動、異常：有無の点検	○	○	○
(3)試運転記録解体前			
①機関性能試験	○	○	○
(4)養生			
①解体前養生	○	○	○
(5)シリンダーカバー			
①取り外し、取り付け	○	○	○
②各諸弁抜き出し、組み込み	○	○	○
③解放、清掃、点検	○	○	○
④爆発面カラーチェック	○	○	○
⑤水とう室掃除	○	○	○
⑥諸弁取付シート部点検手入	○	○	○
⑦シリンダーライナとの合わせ面点検手入	○	○	○
⑧各種ボルトの締付力確認	○	○	○
⑨水圧テスト	○	○	○
⑩ボンネットカバー取り外し、取り付け	○	○	○
⑪ボンネットカバー清掃	○	○	○

二次冷却式は総分解点  
検修理のみ  
※排気弁、燃料弁は実施



シリンダーヘッド(爆発面カラーチェック)

点検項目	部分	中間	総分解
(6)始動弁			
①分解、清掃、点検	○	○	○
②シート摺合	○	○	○
③カバー取付面点検手入	○	○	○
④耐熱塗料塗布	○	○	○
⑤グリスアップ(給油)	○	○	○
(7)始動分配弁、管制弁			
①分解、掃除、点検 (※必要に応じて実施)	※	○	○
②グリスアップ	○	○	○
(8)動弁装置レバー			
①動弁装置及び付属品取り外し、取り付け	○	○	○
②注油孔点検、掃除	○	○	○
③軸、解放検査			○
④軸、ブッシュ間、間隙点検			○
⑤ブッシュロッド防油ゴムカバー点検	○	○	○
⑥注油技管掃除	○	○	○
(9)シリンダー注油機			
①送油の確認	○	○	○
②騒動レバー点検		○	○
③内部掃除 (含むフィルター)			○
④分解、掃除点検			○


点検項目	部分	中間	総分解
<p>(10)給気弁</p> <p>①分解、掃除、点検（取り付け含む）</p> <p>②弁棒、ブッシュ外内径計測</p> <p>③弁棒、弁座シート、ステライト磨耗量測定</p> <p>④弁棒、弁座シート面削正摺合</p> <p>⑤弁棒、弁座シート面相対関係修正</p> <p>⑥ケース本体、弁座摺合わせ面当り確認修正 （弁座分離型のみ実施）</p> <p>⑦ケース本体、カバータイト面当り確認修正</p> <p>⑧耐熱塗料塗布 （ケージタイプのみ実施）</p> <p>⑨ロートキャップ解放点検</p> <p>⑩弁ケージ水圧テスト</p>	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
 <p>吸気弁・排気弁(カラーチェック)</p>			
<p>(11)排気弁</p> <p>①分解、掃除、点検（取り付け含む）</p> <p>②弁棒、ブッシュ外内径計測</p> <p>③弁棒、弁座シート、ステライト磨耗量測定</p> <p>④弁棒、弁座シート面削正摺合</p> <p>⑤弁棒、弁座シート面相対関係修正</p> <p>⑥ケース本体、弁座摺合わせ面当り確認修正 （弁座分離型のみ実施）</p> <p>⑦ケース本体、カバータイト面当り確認修正</p> <p>⑧耐熱塗料塗布 （ケージタイプのみ実施）</p> <p>⑨ロートキャップ解放点検</p> <p>⑩弁ケージ水圧テスト （シート冷却タイプのみ実施）</p>	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
<p>(12)吸・排気管</p> <p>①取り外し、取り付け</p> <p>②外観点検、整備 内部清掃</p> <p>③断熱保修（排気管のみ） （※必要に応じて実施）</p>	○ ○ ※	○ ○ ※	○ ○ ※

点検項目	部分	中間	総分解
(13)燃料弁 ①分解、掃除、点検（取り付け含む） ②噴射テスト ③スプリング、スピンドル点検 ④耐熱塗料塗布	○ ○  ○	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○
(14)燃料ポンプ ①取り付け、取り外し ②分解、掃除、点検（取り付け含む） ③噴射初め角度計測 ④吐出弁分解点検 ⑤デフレクタ拔出点検		  ○  ○	○ ○ ○ ○ ○
(15)指圧器弁 ①分解、掃除、点検			○
(16)シリンダー安全弁 ①分解、掃除、点検 ②弁シート摺合			○ ○
(17)クランク軸 ①外観検査 ②デフレクション計測 ③クランクピン外経計測 ④ " カラーチェック 	○ ○  ○	○ ○ ○  ○	○ ○ ○  ○
(18)架構 ①エンジンヘッド 外観検査 据付ボルト締付力確認 ②クランクケース 外観検査 取付ボルト点検 ③シリンダコラム 外観検査 ④テンションボルト締付力確認 ⑤アンカーボルト締付力確認		  ○  ○  ○  ○  ○  ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

点検項目	部分	中間	総分解
(19)クランク室内部点検 <ul style="list-style-type: none"> <li>①内部漏水の有無点検</li> <li>②クランクピン、メタル締付ボルト点検 (ハンマリングおよび割ピン点検)</li> <li>③給油量確認</li> <li>④金属粉 (ホワイト、その他) : 有無の点検</li> <li>⑤安全弁、点検、掃除</li> <li>⑥内部清掃</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>
(20)クランクピンメタル・接続棒 <ul style="list-style-type: none"> <li>①取り外し、取り付け</li> <li>②クランクピンメタル目視点検</li> <li>③         "      カラーチェック</li> <li>④         "      間隙計測</li> <li>⑤         "      内径計測</li> <li>⑥         "      厚さ計測</li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;">             中間点検時、大端部独立タイプは、2cyl 解放を標準とする。           </div> <div style="font-size: 2em; margin: 10px 0;">             [ ※メタル無しで計測する。              但し、1,000kW 以上は、必要に応じて実施 ]           </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>⑦         "      ハウジング当たり状況</li> <li>⑧接続棒セレーション点検、カラーチェック</li> <li>⑨クランクピンボルト締付力の確認 (ボルト伸びまたは締付角度を基準とする)</li> <li>⑩ピストンピンメタルカラーチェック</li> <li>⑪         "      内径計測</li> <li>⑫クランクピンメタルボルト、割ピン確認</li> <li>⑬クランクピンメタルボルト、ナットの点検 (カラーチェック) (ネジの噛み合チェック)</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">クランクピンメタル(カラーチェック)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>※</li> <li>※</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>



点検項目	部分	中間	総分解
<b>(21)クランクメタル連接棒</b> ①取り外し、取り付け ②スイングピン、メタル間隔計測 ③    "               "   開放点検 ④    "               "   カラーチェック ⑤    "               "   外内径計測 ⑥クランクメタル取付ボルト伸び計測 ⑦主連               "   " ⑧副連               "   "		○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
<b>(22)シリンダライナ</b> ①抜き出し、掃除、点検、挿入 ②シリンダー注油口点検掃除 ③シリンダー注油パイプ取り外し、取り付け ④コラムとの合せ面当り点検およびカラーチェック (※中間定検時 2cyl 開放を標準とする) ⑤内径計測 (計測個所標準による) ⑥内面点検掃除		※ ※ ※ ※ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
 <p style="text-align: center;">シリンダライナ</p>			
<b>(23)ピストンリング</b> ①リング突合間隙計測 ②リング溝間隙計測		○ ○	○ ○


点検項目	部分	中間	総分解
(24)ピストンヘッドスカートピストンピン			
①抜き出し、挿入		○	○
②分解、掃除 (※爆発面は掃除する)	※	○	○
③ヘッド、スカート点検、掃除(切離し) 〔※中間定検時 2cyl 開放を標準とする。 他シリンダーは状況判断の上決定する〕		※	○
④カラーチェック検査 (計測箇所標準による)		○	○
⑤摺動面の当り状況点検 (計測箇所標準による)		○	○
⑥外径計測 (新品リングを入れて間隙計測)		○	○
⑦ピンボス内径計測		○	○
⑧リング溝計測		○	○
⑨ヘッド、スカート分解品締付力の確認 〔※中間定検時 2cyl 開放を標準とする。 他シリンダーは状況判断の上決定する〕		※	○
⑩ピストンピン、点検カラーチェック		○	○
⑪ // 外径計測		○	○
			
ピストンピン			

点検項目	部分	中間	総分解
<p>(25)メインメタル</p> <p>①付属品取り外し、取り付け (総分解定検は、基準メタルを含む)</p> <p>②解放、点検</p> <p>③間隙計測</p> <p>④カラーチェック</p> <p>⑤メタル厚さ計測 (サイドボルト取外洗浄) (※中間点検時は2個点検を標準とする)</p> <p>⑥ボルト締付力確認</p>  <p>メインメタル(カラーチェック)</p>		<p>○</p> <p>※</p> <p>※</p> <p>※</p> <p>※</p> <p>○</p>	<p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p>
<p>(26)カム及びカムメタル</p> <p>①カムメタル外観点検</p> <p>② " 間隙計測</p> <p>③カム、ローラ外観点検カム室掃除</p> <p>④ローラ、ローラガイド取り外し点検、取り付け</p> <p>⑤カム注油量確認</p>  <p>カム軸</p>  <p>カムメタル(カラーチェック)</p>	<p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p>	<p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p>	<p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p>

点検項目	部分	中間	総分解
<b>(27)操縦装置</b>			
①リンク機構、セッティング確認	○	○	○
②軸受、ローラ点検	○	○	○
③リンクピン、割ピン点検	○	○	○
④作動確認	○	○	○
<b>(28)ガバナ</b>			
(油圧ガバナ)			
①メーカー発送修理			○
②油交換		○	○
(機械式)			
①分解点検修理			○
②各部外観検査整備	○	○	○
<b>(29)ガバナ駆動装置</b>			
①ガバナ駆動傘歯車 (点検窓より目視点検)	○	○	○
②機関側 及び ガバナ側 (注油状況点検)	○	○	○
③バックラッシュ及びスラストスキマを計測する。		○	○
④歯面状況を点検する。			○
⑤注油孔を点検掃除する。 (組立時には各部寸法を計測する)			○
<b>(30)起動装置</b>			
①緩起動装置、分解整備			○
②グリスアップ			○
<b>(31)ターニング装置</b>			
①始動空気、安全弁開放点検		○	○
②グリスアップ		○	○
③油量確認、給油		○	○
<b>(32)歯車</b>			
①外観点検 (ギヤケースは解体しないことを標準とする)		○	○
②背隙、計測 (計測可能個所のみ)		○	○
③注油量確認		○	○
④ブッシュ間隙計測 (ギヤケース解体時に計測)			○
<b>(33)主始動弁</b>			
①分解点検	○	○	○
②グリスアップ		○	○

点検項目	部分	中間	総分解
<p>(34)過給機</p> <p>①取り外し、取り付け ○ ○ ○</p> <p>②ブロワ側分解掃除 ○ ○ ○</p> <p>③タービン側分解掃除 ○ ○ ○</p> <p>④軸受点検 ○ ○ ○</p> <p>〔ボールベアリング式は交換を標準とする。〕 〔中間、総分解点検〕</p> <p>⑤各部品外観検査 ○ ○ ○</p> <p>⑥ケーシング、ブロワ間隙計測 ○ ○ ○</p> <p>⑦軸受摩耗量確認 ○ ○ ○</p> <p>⑧スラスト計測 ○ ○ ○ (メタル式)</p> <p>⑨ケーシング腐蝕状況点検 ○ ○ ○ (メタル式)</p> <p>⑩回転計発信機の取付確認 ○ ○ ○ (ハンマリング等による)</p> <p>⑪吸気フィルタ掃除 ○ ○ ○</p> <p>⑫ブロワ側タービン側シール裏金外し、外周ポケット部掃除 ※ ※ ※</p> <p>⑬バランス点検修正 ※ ※ ※ (※必要に応じて修理 メーカー仕様による)</p>			
<div data-bbox="355 1211 823 1563" data-label="Image"> </div> <p>過給機(掃除後)</p>			

点検項目	部分	中間	総分解
<p>(35)潤滑油ポンプ (プライミングポンプを含む)</p> <p>①取り外し、取り付け</p> <p>②分解、間隙、点検</p> <p>③ポンプ歯車点検</p> <p>④軸、軸受点検</p> <p>⑤各パッキン交換 (軸封含む)</p> <p>⑥軸芯点検、調整</p> <p>⑦カップリングボルト点検 (プライミング除く)</p> <p>⑧ // リング点検 (プライミング除く)</p> <p>⑨モータボールベアリング新替 (プライミング除く)</p> <p>⑩ // グリスアップ (プライミング除く)</p> <div data-bbox="319 943 948 1279" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;">潤滑油ポンプ(掃除後)</p>	<p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p>	<p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p>	<p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p>
<p>(36)動弁注油ポンプ</p> <p>①取り外し、取り付け</p> <p>②分解、掃除、点検</p> <p>③駆動部点検</p> <p>④軸、軸受点検</p> <p>⑤モータボールベアリング新替</p> <p>⑥ // グリスアップ</p>	<p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p>	<p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p>○</p>	<p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p>

点検項目	部分	中間	総分解
<b>(37)一次冷却水ポンプ(プライミングポンプを含む)</b> ①取り外し、取り付け ②分解、掃除、点検 ③軸、スリーブ、羽根点検 ④ボールベアリング交換 ⑤パッキン交換（軸封含む） ⑥軸芯点検調整 ⑦カップリングボルト点検 ⑧     "       リング点検 ⑨水質部必要箇所塗装 ⑩モータボールベアリング新替 ⑪       "       グリスアップ	       ○ ○	       ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	       ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
			
冷却水ポンプ(掃除後)			
<b>(38)過給機注油ポンプ</b> ①取り外し、取り付け ②分解、掃除、点検 ③ポンプ歯車点検 ④軸、軸受点検 ⑤各パッキン交換 ⑥軸芯点検、調整 ⑦カプリングボルト点検 ⑧       "       リング点検 ⑨モータボールベアリング新替 ⑩       "       グリスアップ		       ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	       ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

点検項目	部分	中間	総分解
<b>(39)燃料油関係ポンプ</b> ①取り外し、取り付け ②分解、掃除、点検 ③ポンプ歯車点検 ④軸、軸受点検 ⑤各パッキン交換（軸封含む） ⑥軸芯点検 ⑦カップリングボルト点検 ⑧     "         リング点検 ⑨モータボールベアリング新替 ⑩         "         グリスアップ	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">           燃料供給ポンプは主機の定期点検時に実施(主機との組合せは工事主管箇所にて決定)         </div>		○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
<b>(40)二次冷却ポンプ</b> ①取り外し、取り付け ②分解、掃除、点検 ③軸、スリーブ、羽根点検 ④ボールベアリング交換 ⑤パッキン交換（軸封含む） ⑥軸芯点検調整 ⑦カップリングボルト点検 ⑧     "         リング点検 ⑨水質部必要箇所塗装 ⑩モータボールベアリング新替 ⑪     "         グリスアップ	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">           (三次冷却水ポンプ含む)            ユニット附属の海水ポンプの点検保修は本基準により実施         </div>	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
<b>(41)海水ポンプ</b> ①取り外し、取り付け ②開放点検、掃除 ③軸受及びブッシュ計測 ④各個所間隙確認 ⑤塗装 ⑥ボルト締付力確認 ⑦モータ取り外し洗浄、軸受ベアリング交換 ⑧振動、異音点検処置			○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
<b>(42)海水炉過器</b> ①解放、掃除、点検			○



点検項目	部分	中間	総分解
(43)二次水冷却器			
①解放、掃除、点検	○	○	○
②水路部掃除	○	○	○
③水圧テスト	○	○	○
④水室部塗装 (必要に応じて実施)	○	○	○
⑤防蝕亜鉛板取替え (必要に応じて実施)	○	○	○
(44)逆止弁			
①分解、掃除、点検 (必要に応じて実施)		○	○
②動作、確認		○	○
(45)二次冷却水系統			
①フードバルブ点検 (水槽壁貫通方式は除く)		○	○
②逆止弁点検		○	○
(46)燃料弁冷却油ポンプ(油冷却用ポンプ)			
①取り外し、取り付け			○
②分解、掃除、点検			○
③歯車またはトロコイド点検			○
④軸受点検			○
⑤グランドパッキン交換(メカニカルシール)		○	○
⑥オイルシール変換			○
⑦軸芯確認調整		○	○
⑧カップリングボルト点検	○	○	○
⑨ // リング点検	○	○	○
⑩モータボールベアリング新替		○	○
⑪ // グリスアップ		○	○
(47)空気冷却器			
①取り外し、取り付け	○	○	○
②冷却水通路掃除	○	○	○
③空気通路掃除	○	○	○
④防腐亜鉛交換 (必要に応じて取り替える)	○	○	○
⑤水圧テスト (機関運転前の通水テスト時確認)	○	○	○

点検項目	部分	中間	総分解
<b>(48)燃料弁クーリング冷却器</b> ①二次冷却水通路掃除 ②冷却油(水)通路掃除 ③防蝕亜鉛交換 (必要に応じて取り替える) ④水圧テスト (機関運転前の通水テスト時確認)		○	○ ○ ○ ○
<b>(49)清水冷却器</b> ①取り外し、取り付け ②二次水路掃除 ③水圧テスト (試運転時の通水通油試験時確認) ④水質部必要箇所塗装 ⑤防蝕亜鉛取替 (必要に応じて取り替える)	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
<b>(50)LO タンク</b> ①潤滑油抜き取り、油張り ②内部掃除、点検 ③フロート、レベル点検		○ ○	○ ○ ○
<b>(51)TBLO タンク</b> ①内部掃除、点検 ②フロート、レベル点検			○ ○
<b>(52)冷却水膨張タンク</b> ①内部掃除、点検 ②フロート、レベル点検 ③ポールタップ点検   冷却水膨張タンク		○	○ ○ ○

点検項目	部分	中間	総分解
<b>(53)潤滑油冷却器</b>			
①取り外し、取り付け	○	○	○
②冷却水路掃除	○	○	○
③潤滑油路掃除 (必要に応じて実施)			○
④油水圧テスト (試運転時の通油試験確認)	○	○	○
⑤水質部必要個所塗装 (必要に応じて取り替える)	○	○	○
⑥防蝕亜鉛取替	○	○	○
<b>(54)過給機潤滑油冷却器</b>			
①取り外し、取り付け	○	○	○
②冷却水路掃除	○	○	○
③潤滑油路掃除 (必要に応じて実施)			○
④油水圧テスト (試運転時の通油試験確認)	○	○	○
⑤水質部必要個所塗装 (必要に応じて取り替える)	○	○	○
⑥防蝕亜鉛取替		○	○
<b>(55)動弁油タンク</b>			
①内部掃除、点検	○	○	○
②フロート、レベル点検	○	○	○
<b>(56)FV 冷却油(水)タンク</b>			
①フロート、レベル点検			○
②ポールタップ点検			○
<b>(57)FO サービスタンク</b>			
①フロート、レベル点検			○
②内部、掃除点検 (必要に応じて実施)			○
<b>(58)LO 温調弁</b>			
①解放、掃除、点検			○
②エレメント、作動テスト			○
<b>(59)FO 温調弁</b>			
①解放、掃除、点検			○
②エレメント、作動テスト			○

# 添付資料 7

講義資料

**Marshall Islands HNEI-Enetech Clean Energy**

# Achieving A Clean and Self-Sufficient Energy Future for the Marshall Islands - Lessons from the Hawaii Experience



*Grid System Technologies Advanced Research Team*



**Leon R. Roose, Esq.**

Principal & Chief Technologist  
GridSTART

Hawaii Natural Energy Institute  
School of Ocean & Earth Science & Technology  
University of Hawaii at Manoa  
1680 East-West Road, POST 109  
Honolulu, Hawaii 96822

Office: (808) 956-2331

Mobile: (808) 554-9891

E-mail: [lroose@hawaii.edu](mailto:lroose@hawaii.edu)

Website: [www.hnei.hawaii.edu](http://www.hnei.hawaii.edu)



# Hawaii is Paradise Found



# ***But, Hawaii is Very Geographically Isolated ....***

**Nearly 90% of  
Hawaii's energy  
is met using  
fossil fuels**

**100% of the  
crude oil for the  
State is imported**



## **Threat to Hawaii's:**

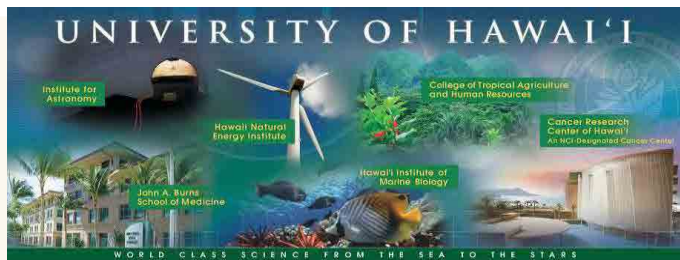
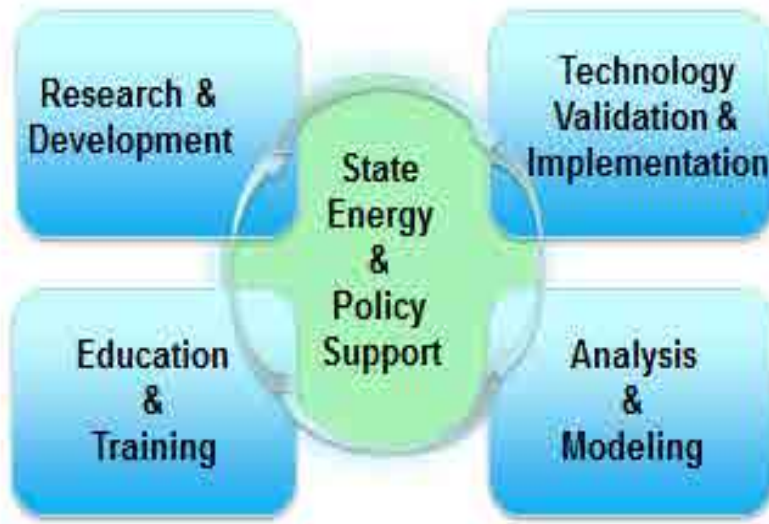
- **Security**
- **Economy**
- **Environment**

# Clean Energy Opportunities in Hawaii are Abundant





# HNEI Advancing Innovation in Renewable Energy and Grid Technology



## ✓ **Systems Integration of Renewables**

- Grid modeling and analysis
- Smart grid and micro-grid development
- Storage application on the grid

## ✓ **Renewable Power Generation**

- Ocean Energy
- Photovoltaics

## ✓ **Electrochemical Power Systems**

- Batteries
- Fuels Cell

## ✓ **Alternative Fuels:**

- Biomass, Biofuels, Hydrogen, Methane Hydrates

## ✓ **Energy Efficiency**

- Building Technology
- Sea Water Air Conditioning



# Progressive Leadership in Clean Energy Policy

## Editorials

TUESDAY | OCTOBER 27, 2008

### Ambitious energy agreement charts right course

A promising new agreement between the state and Hawaiian Electric Co. is expected to make some significant progress in reducing Hawaii's dependence on fossil fuels. It calls for streamlining the regulatory process to achieve some worthy goals, including sending wind energy from Maui, (Kauai) and Molokai to Oahu via state-of-the-art undersea cables, and developing a "smart grid" so customers can get lower rates during off-peak hours.

That's the good news. But with the agreement, HECO's ratepayers will be asked to pay more for the new cables and smart grid. The agreement also lacks some key details. Perhaps the most important one, given these tough economic times, is how much will it all cost, and how much of that cost will the consumer be asked to bear?

Admittedly, it's a difficult question to answer, given the scope and complexity of the plan. Still, looking out for ratepayers' and taxpayers' interests will be crucial. Part of that responsibility rests with one of the agreement's signatories, consumer advocate Catherine Awakuni, and the Public Utilities Commission.

Awakuni and the PUC have the obligation to ensure that the average ratepayer isn't unfairly burdened by the cost of developing the new, renewable-energy infrastructure.

There will be significant up-front investment costs. The undersea cable alone could run in the hundreds of millions of dollars, and the state should maximize opportunities for federal funding through the Department of Energy or similar sources.

And even with federal funding — U.S. Sen. Daniel K. Inouye attended the signing ceremony for the new agreement — ratepayers will likely be asked to pick up some of these costs as an investment in the state's renewable energy future.

Certainly, this future is the direction in which the state needs to be moving. Achieving the state's goal of 70 percent clean energy by 2030 is a laudable plan that sets us on the right path. Indeed, Hawaii is uniquely positioned to be a leader in the area of wind, wave and solar energy efforts.

And in the long term, renewables offer an unlimited supply of environmentally friendly energy and reduces our over-reliance on fossil fuels — a more sensible and sustainable future.

It's an ambitious plan. If the agreement's goals are met, the result will be a fundamentally changed energy model. A more unified, more efficient grid will support different energy sources, primarily wind. HECO will move from a sales-based company to an energy services provider, and the consumer will have more control over energy costs with new ways to conserve using technology.

The Inouye administration hopes the agreement will be a win-win for everyone — the state, HECO and consumers. Refining these details will help ensure that success.

## Hawaii Clean Energy Initiative (HCEI)

The State of Hawaii, US DOE, and local utility launched HCEI in January 2008 to transform Hawaii to a 70% clean energy economy by 2030:

- Increasing Hawaii's economic and energy security
- Fostering and demonstrating Hawaii's innovation
- Developing Hawaii's workforce of the future
- Becoming a clean energy model for the U.S. and the world

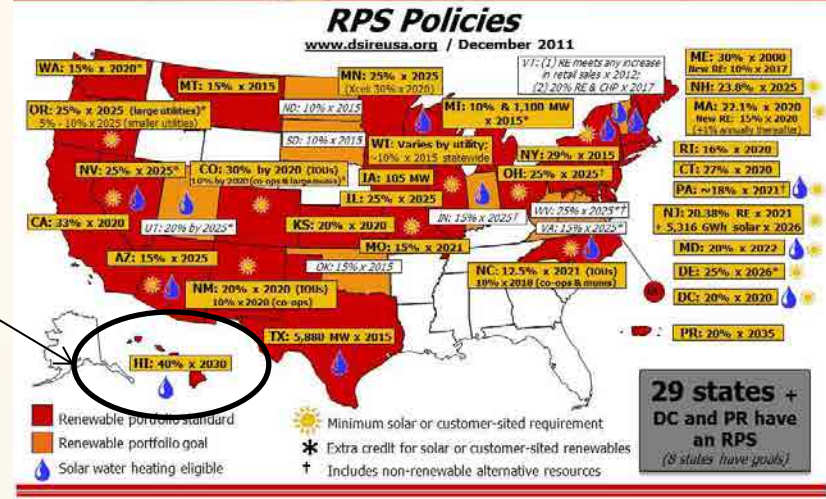
## Strong Hawaii Policies

### Highest RPS Target in the United States

**40% by 2030**  
(2015 - 15%; 2020 - 25%)

Other key policies:

- Tax incentives
- Net metering
- Feed in tariffs

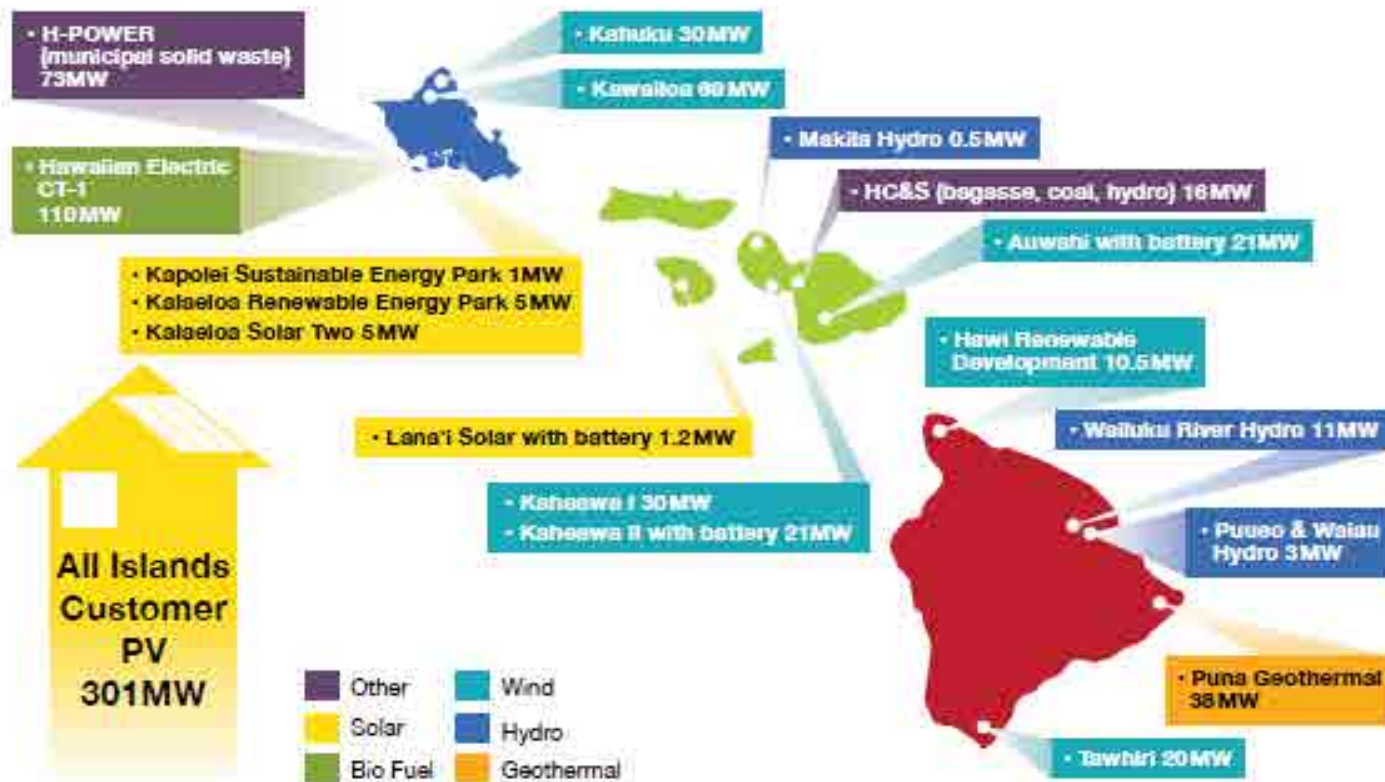


# Hawaiian Electric's Renewable Energy Success

## "Clean Energy, Lower Bills"

Lowering customers' bills is a top priority for the Hawaiian Electric Companies. By far the biggest impact on electric bills is fuel and fuel-related costs that make up more than 70 percent of the typical bill. The companies take no markup on fuel or power purchased from independent providers of renewable and conventional power.

Renewable Energy Projects as of December 2013



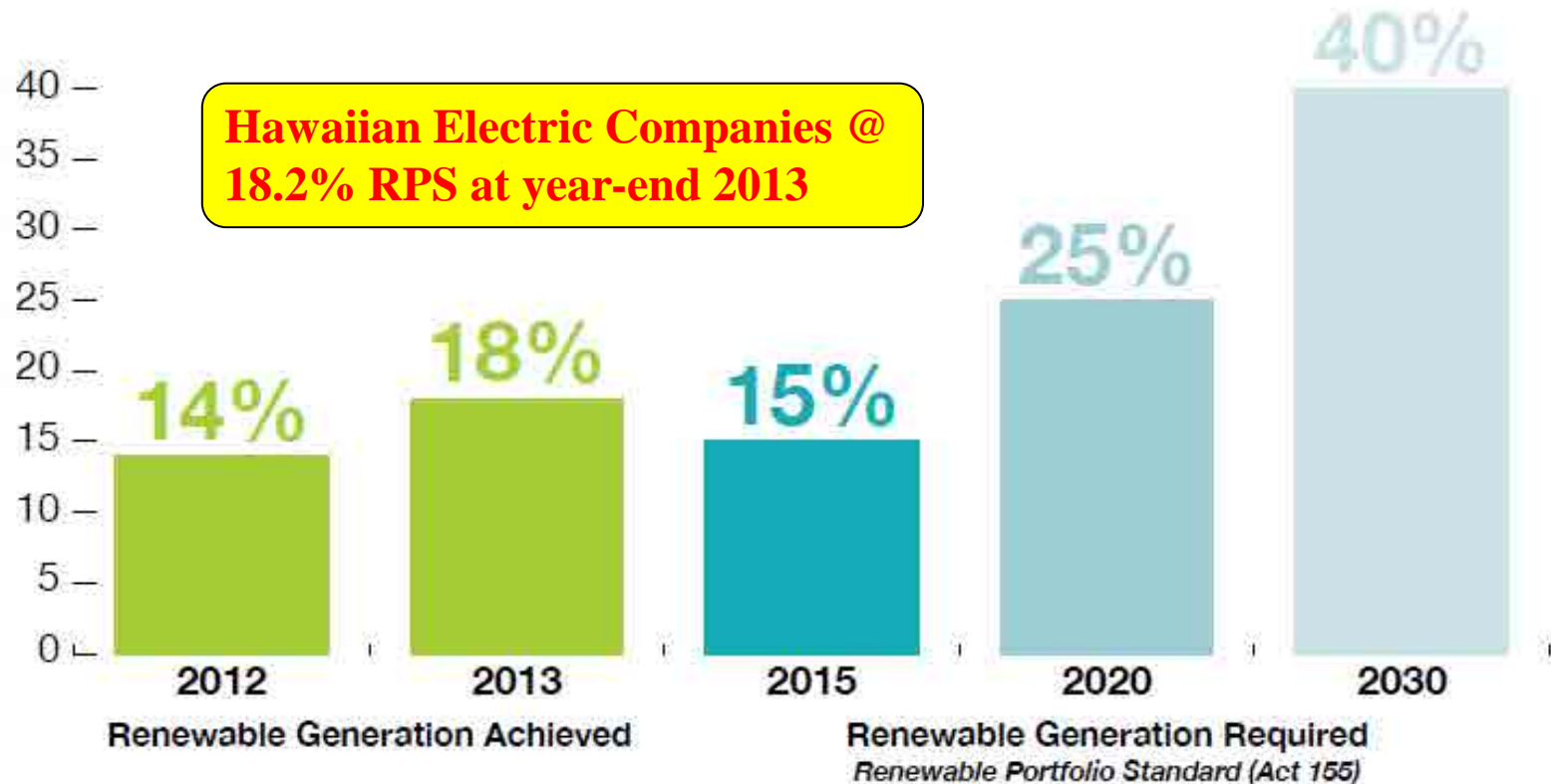
Source: Hawaiian Electric Companies 2013 Clean Energy Update Report

**On Oahu, 250 MW of large-scale PV projects in PPA negotiation**



# Exceeding Hawaii RPS Goals

Renewable Generation for Hawaiian Electric Companies –  
Current Generation Achieved and Generation Required



Source: Hawaiian Electric Companies 2013 Clean Energy Update Report



# 2013 Renewable Portfolio Standard Status Report

For the Year Ended December 31, 2013 (In Net Megawatt Hours)					
	2013				2012
	Hawaiian Electric	Hawai'i Electric Light	Maui Electric	TOTAL	TOTAL
<b>Electrical Energy Generated Using Renewable Energy Sources</b>					
Biomass (including municipal solid waste)	374,569		41,122	415,691	341,790
Geothermal		281,417		281,417	266,234
Photovoltaic and Solar Thermal <sup>1</sup>	27,303	1,525	5,097	33,924	9,643
Hydro <sup>1</sup>		35,410	4,745	40,155	65,066
Wind <sup>1</sup>	121,691	151,552	230,305	503,548	388,256
Biofuels	28,508		1,281	29,788	22,607
<b>Subtotal</b>	<b>552,071</b>	<b>469,904</b>	<b>282,550</b>	<b>1,304,525</b>	<b>1,093,596</b>
<b>Electrical Energy Savings Using Renewable Displacement Technologies</b>					
Customer-Sited, Grid-Connected <sup>2</sup>	248,938	47,471	47,517	343,926	182,638
Solar Water Heating <sup>3</sup>					
Utility	100,997	16,678	26,774	144,449	159,801
PBFA <sup>4</sup>	21,945	4,628	3,161	29,733	24,910
<b>Subtotal</b>	<b>371,880</b>	<b>68,776</b>	<b>77,452</b>	<b>518,108</b>	<b>367,349</b>
<b>Electrical Energy Savings Using Energy Efficiency Technologies<sup>5</sup></b>					
Pre-2013 Participants					
Utility	630,696	47,065	84,856	762,617	777,640
PBFA	315,955	48,765	42,427	407,147	231,670
2013 Participants (PBFA)					
	92,516	18,286	16,998	127,799	175,950
<b>Subtotal</b>	<b>1,039,167</b>	<b>114,116</b>	<b>144,281</b>	<b>1,297,564</b>	<b>1,185,260</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1,963,119</b>	<b>652,796</b>	<b>504,282</b>	<b>3,120,196</b>	<b>2,646,205</b>
<b>TOTAL SALES</b>	<b>6,858,536</b>	<b>1,076,104</b>	<b>1,134,873</b>	<b>9,069,512</b>	<b>9,205,998</b>
<b>RPS PERCENTAGE</b>	<b>28.6%</b>	<b>60.7%</b>	<b>44.4%</b>	<b>34.4%</b>	<b>28.7%</b>
<b>RENEWABLE GENERATION RPS PERCENTAGE</b>					
<b>(Not Counting Energy Efficiency and Solar Water Heating)<sup>6</sup></b>					
Energy	801,009	517,374	330,067	1,648,451	1,276,234
Percentage	11.7%	48.1%	29.1%	18.2%	13.9%



# Hawaii's Electric Systems

4 electric utilities; 6 isolated island grids

**Large solar and wind resources exist, but resource intermittency challenges grid operations**

## Kauai Island Utility Cooperative

27 MW PV (24 MW in development)

System Peak: 78 MW

Customers: 32,700

Kaua'i

80% of state population

O'ahu

Moloka'i

Maui

Lana'i

Hawai'i

## Hawaiian Electric

221+ MW PV / 99 MW Wind /  
73 MW WTE / 110 MW Biofuel CT

System Peak: 1,100 MW

Customers: 300,000

## Maui Electric

Maui: 60+ MW PV / 72MW Wind  
System Peak: Maui 200 MW

Lana'i: 2.4+ MW PV

System Peak: Lana'i: 5 MW

Moloka'i: 1.5+ MW PV

System Peak: Moloka'i: 5.5 MW

Customers: 68,000

## Hawaii Electric Light

40+ MW PV / 30 MW Wind /  
38 MW Geothermal / 16 MW Hydro

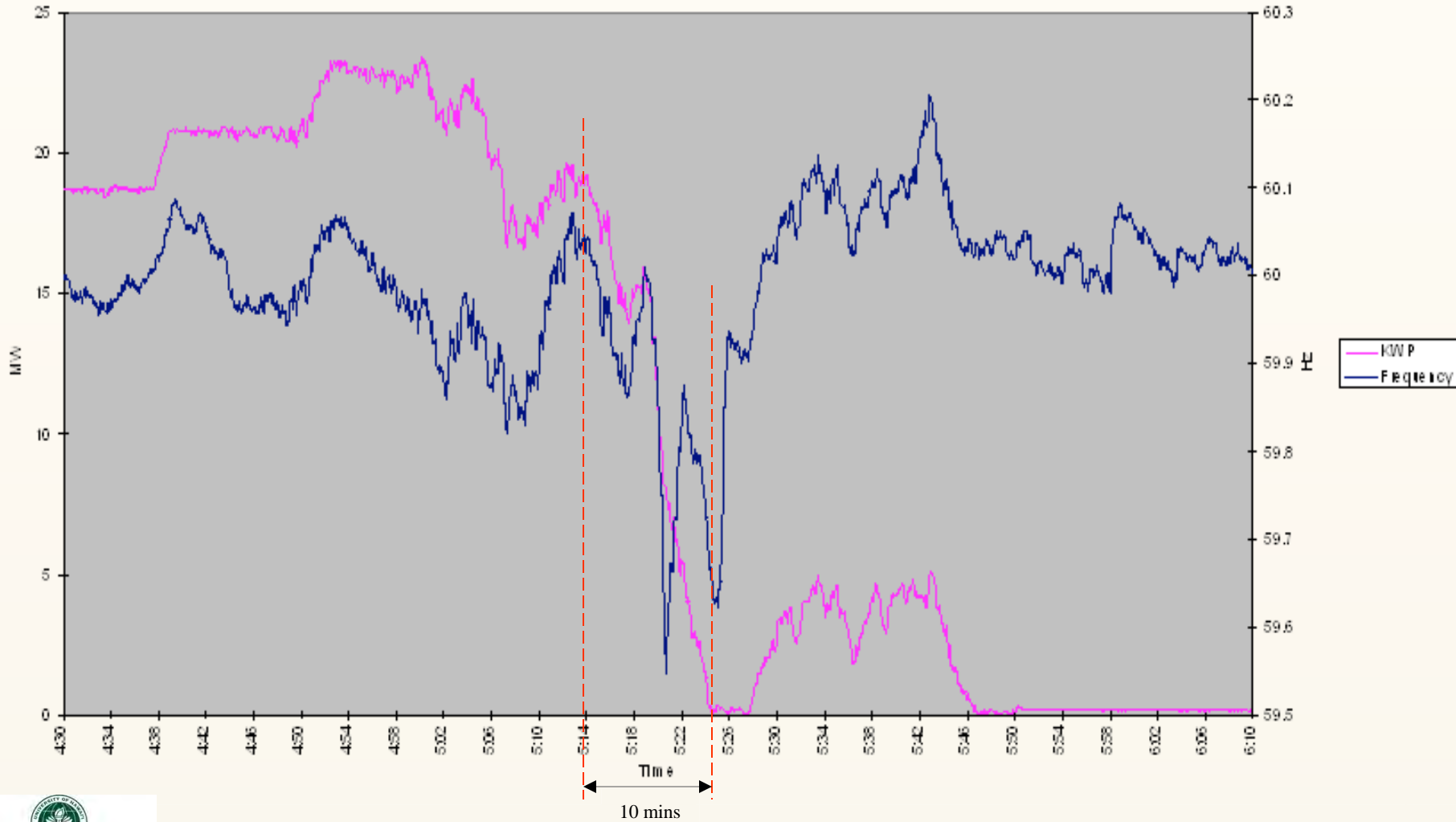
System Peak: 190 MW

Customers: 81,000

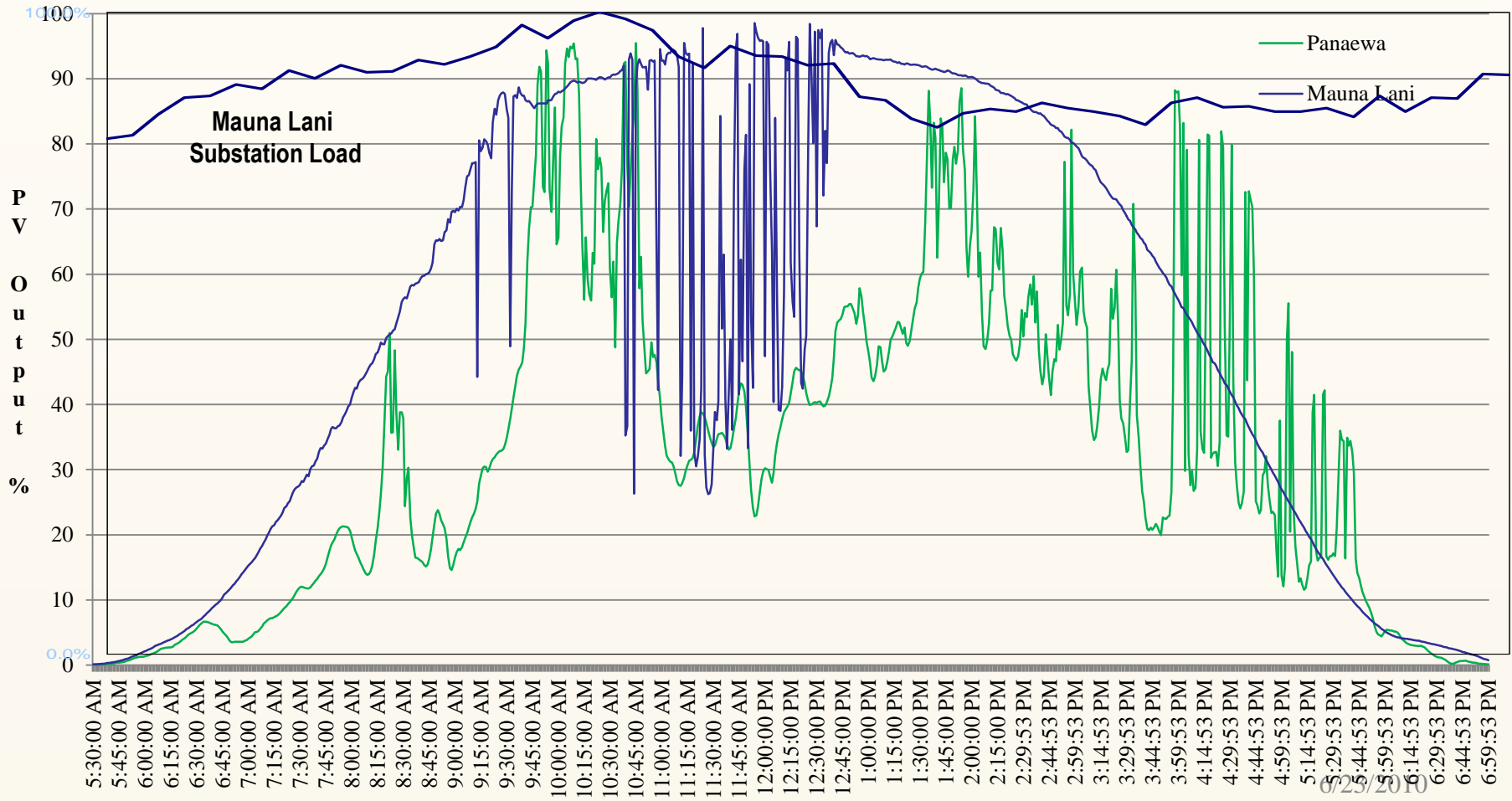


# Wind Resource Intermittency and Variability

MECO Frequency & KWP MW Output - Feb. 29, 2008



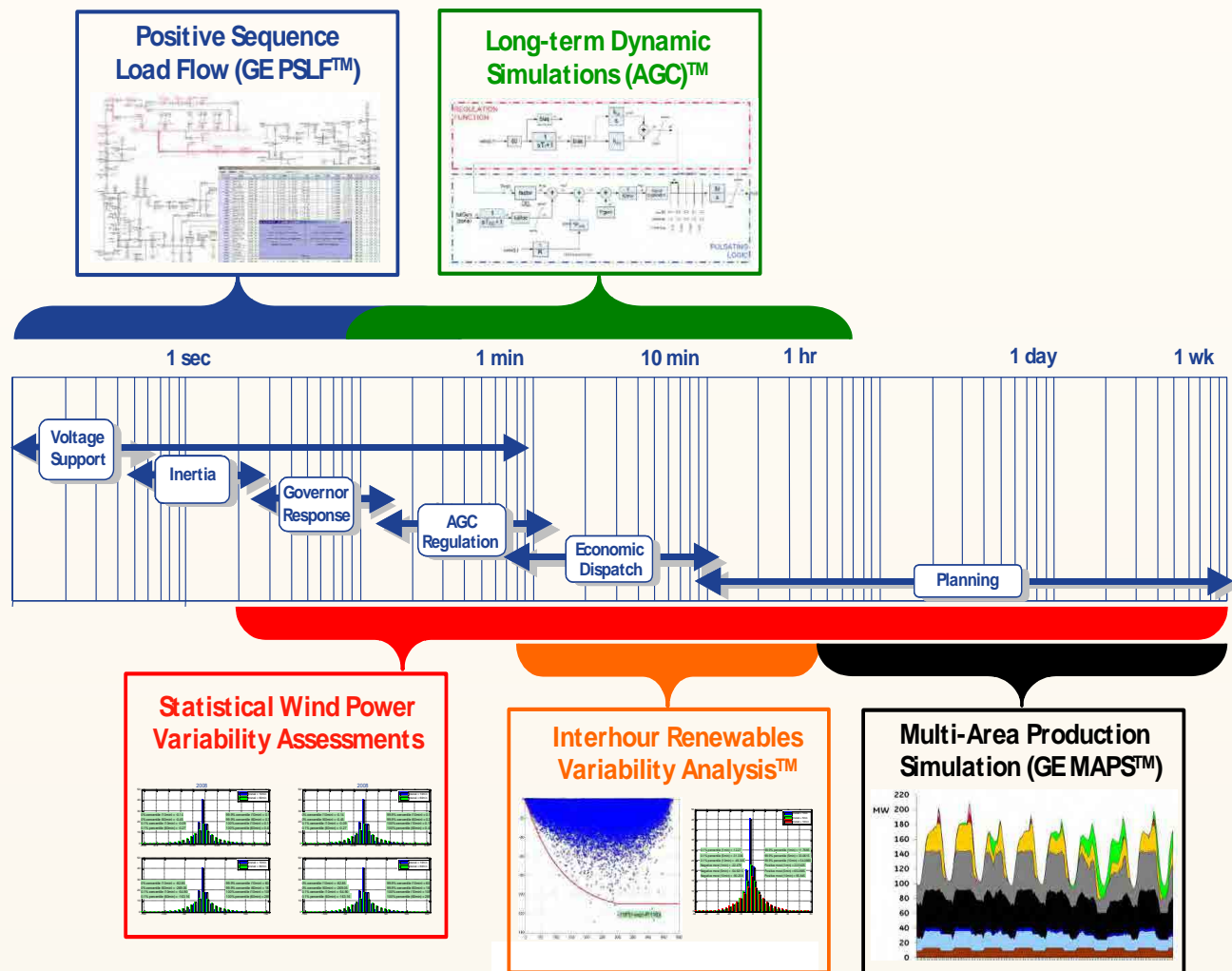
# Solar Resource Intermittency and Variability





# HNEI Renewable Energy Grid Integration Studies

- Develop rigorous analytic models of electricity grids
- Analyze impact of new energy systems including renewable generation, end-use energy efficiency, and transportation systems
- Analyze solutions to address system integration issues
  - Advanced controls
  - Forecasting
  - Demand control
  - Storage
  - Smart grids



*Tools are used together to assess the challenges and provide information needed for advanced energy solutions*



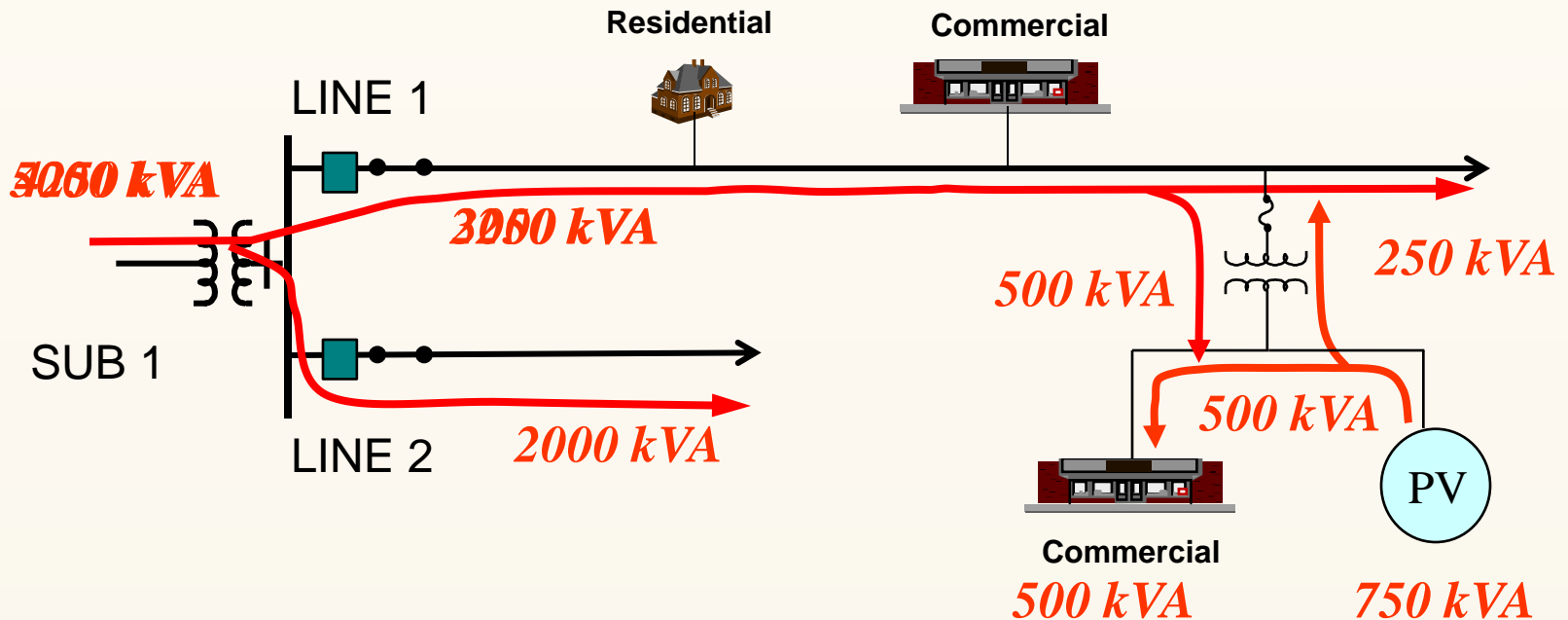
# ***Interconnection of Distributed Generation on Island Power Systems***

- Present utility issues dealing with interconnection of distributed generation
- Current Hawaii initiatives aimed to address interconnection of distributed generation



# Current Distribution System with (Before Distributed Generation)

- Reduces load on transformer and line when generation is available
- Changes power flow on the line and transformer



# *Forecasting Load is Challenged Due to Distributed Generation (DG)*

- In the past, no DG on circuits. Measured load = actual load
- Now, high penetration of DG on circuits is affecting load forecasting
- As a result, measured load  $\neq$  actual load during the time period when DG is online
- Measured load = actual load less the generation from DGs
- As a result, for circuits with PV, the measured peak load for day peaking circuits is going down



# DG Project Interconnection Objectives

- **Maintain Safety** – *the interconnection design and protection should avoid any undue safety hazard for utility personnel, customers and the public*
- **Maintain Power Quality** - *DG will not cause objectionable power quality, voltage regulation or voltage flicker problems on the utility system and for any customers*
- **Maintain System Reliability** - *DG equipment should not materially degrade the reliability of the power system to which it connects*
- **Maintain Service Restoration to Customer** - *The DG unit will not interfere with restoration of power on the utility system*
- **Avoid Significant interference with System Protection** – *DG should not interfere with the operation of the utility system overcurrent protection equipment*
- **Avoid Damaging Customer and Utility Equipment** - *DG units should not cause damage to utility and customer equipment during steady state and faulted system operating conditions*

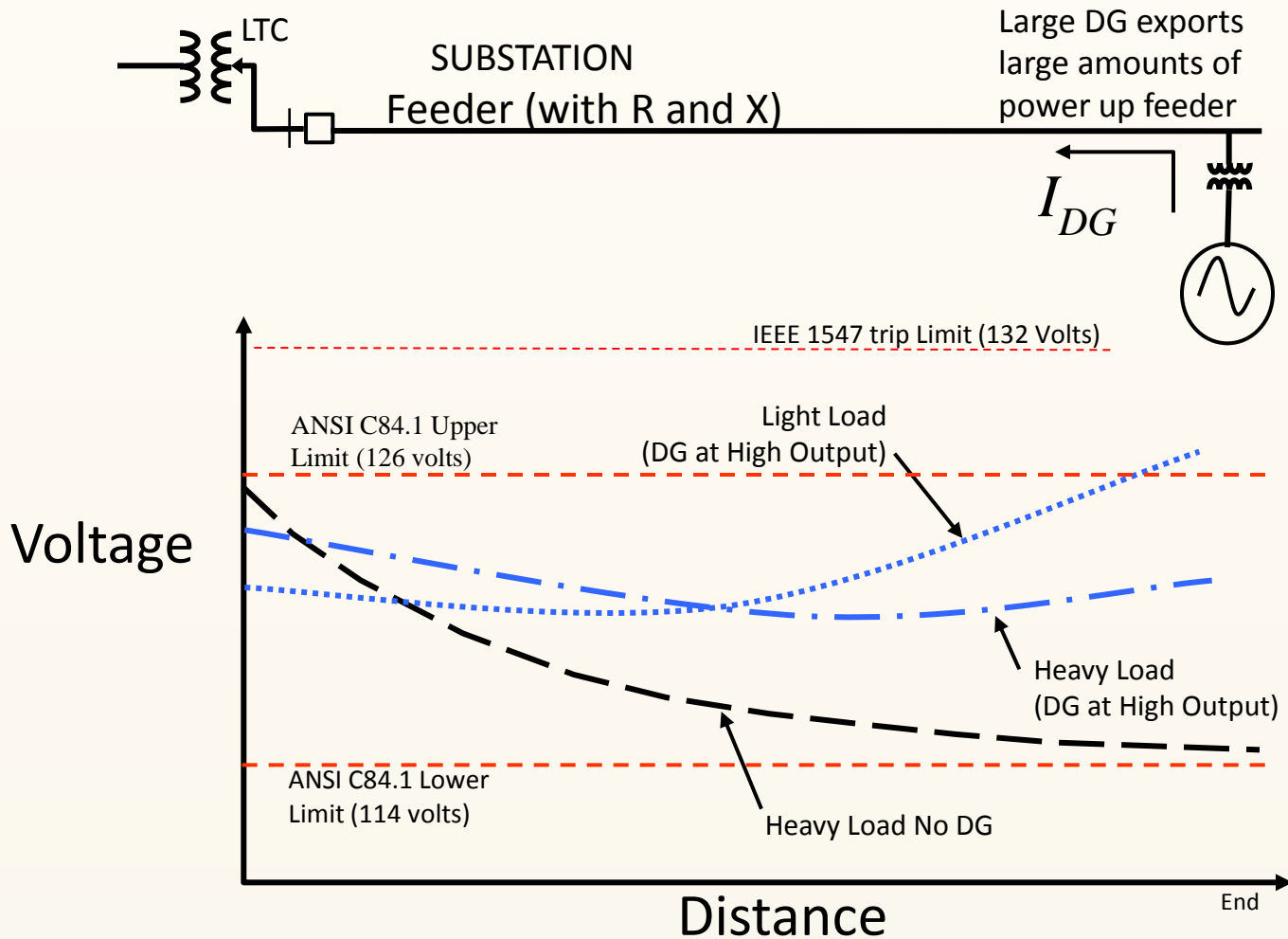


# Localized Issues when Interconnecting DG to a Distribution Feeder

- **Voltage Regulation and Power Flow**  
*(steady state conditions, tap changer cycling issues, reverse power flow issues, thermal limits, power factor)*
- **Power Quality**  
*(fluctuating conditions, flicker)*
- **Fault Currents and Protection Coordination**  
*(impact on fault levels, device coordination, interrupting ratings, ground fault current detection desensitization)*
- **Ground Fault Overvoltage**  
*(this is important especially for non-effectively grounded DG, of which PV devices are often configured that way)*
- **Islanding**  
*(important especially in complex situations with multiple DG present or with fast reclosing present and no live-line reclose blocking)*
- **Ride Through Requirements**  
*(important especially when renewable generation becomes a significant portion of the system generation)*

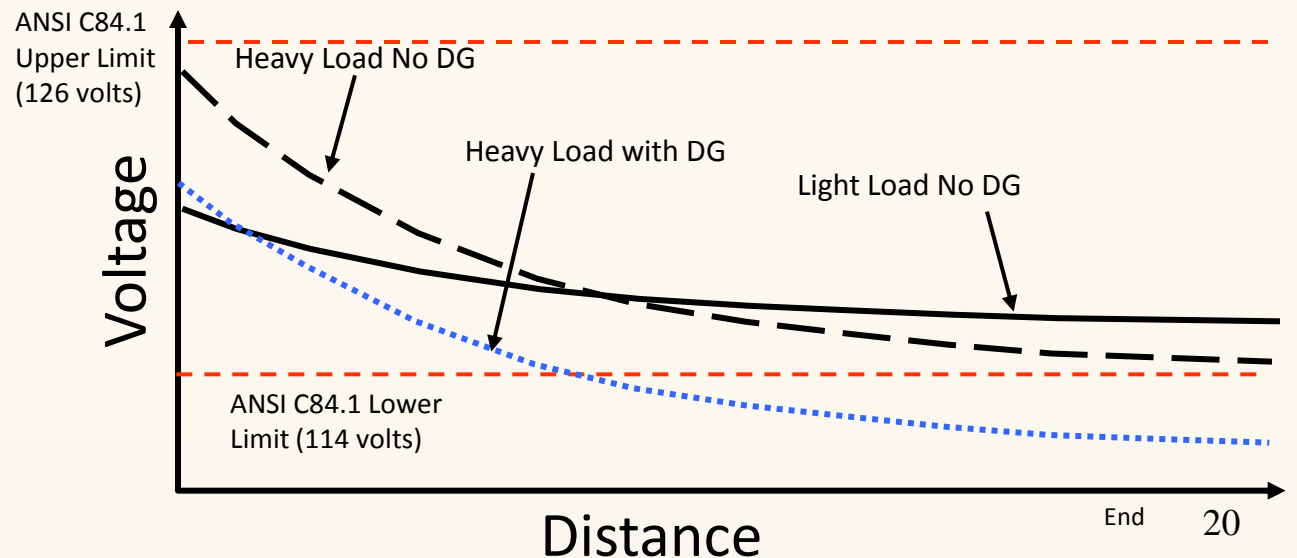
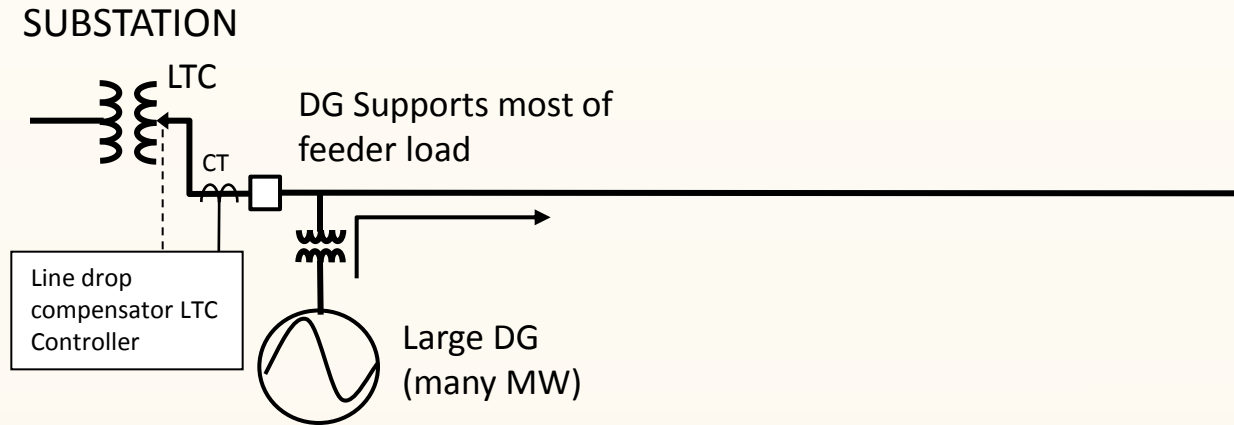


# Voltage Regulation: Location of DG Impacts Circuit Voltage



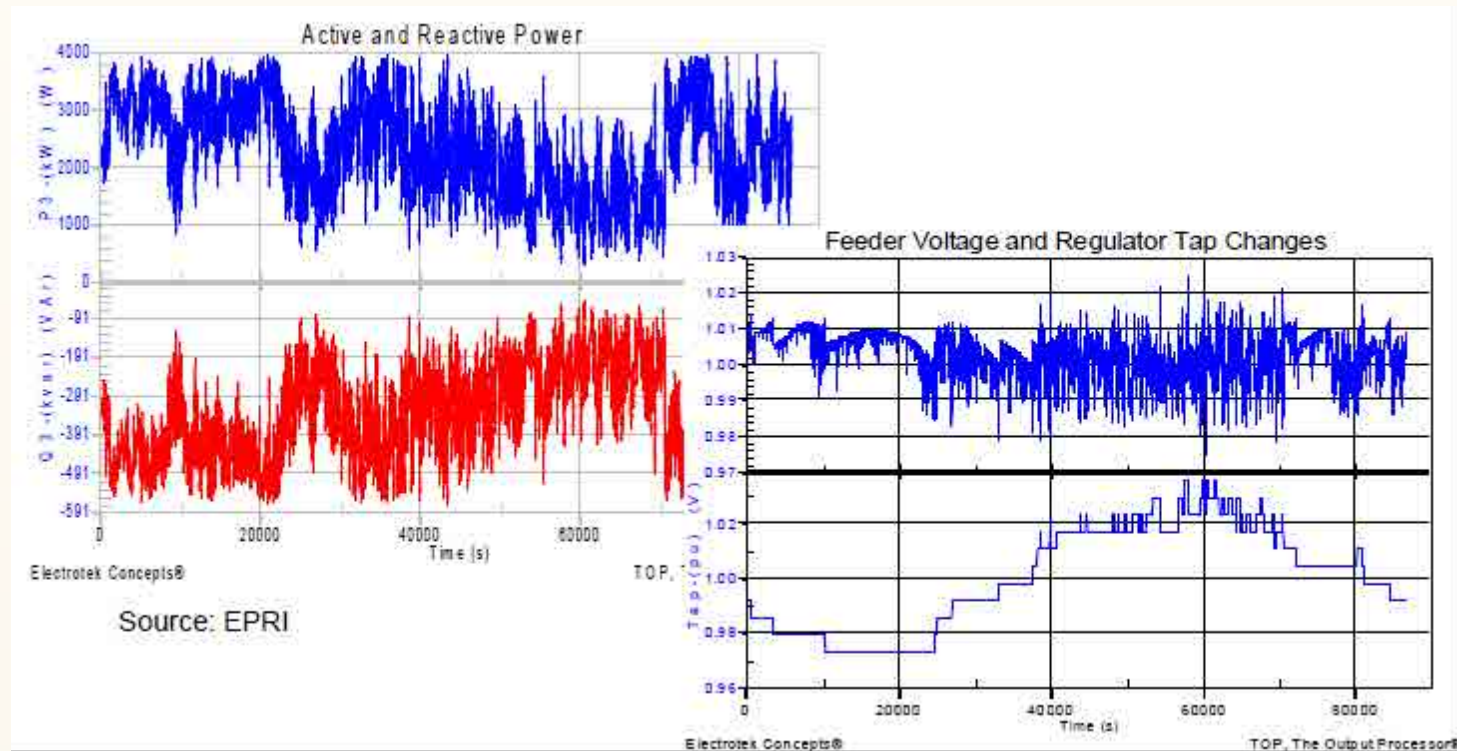
# Voltage Regulation: Location of DG Impacts Circuit Voltage

Exporting DG “shields” the substation LTC controller from the feeder current. The LTC sees less current than there is and does not boost voltage adequately.

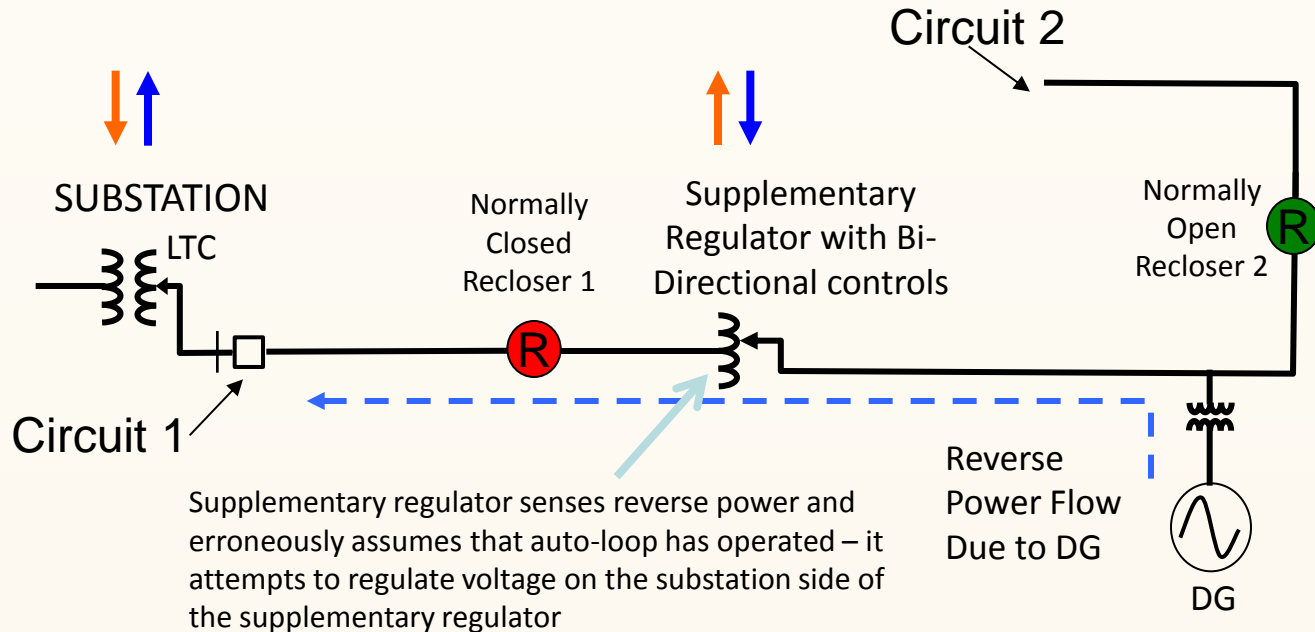




# Voltage Control: Excessive voltage regulator tap operations with variable DG



# Voltage Regulator Reverse Mode Confused by DG Reverse Power

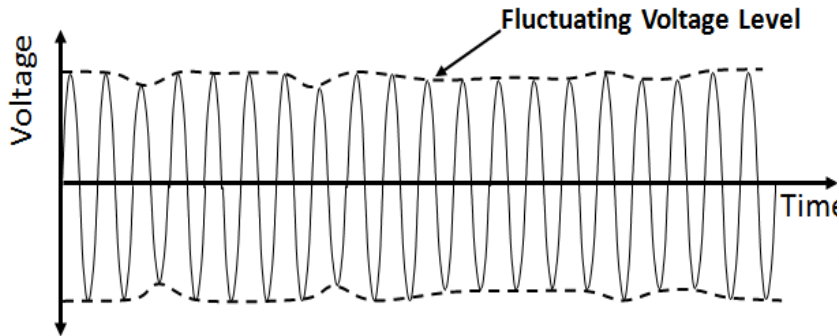


**What happens?** Since the feeder is still connected to the substation, the line regulator once it is forced into the reverse mode will be attempting to regulate the front section of the feeder. To do this it will fight a losing battle against the substation transformer. This may cause the supplementary regulator to “runaway” to either its maximum or minimum tap setting to attempt to achieve the desired set voltage. This in turn could cause dangerously high or low voltage on the DG side of the regulator unless limits engage.

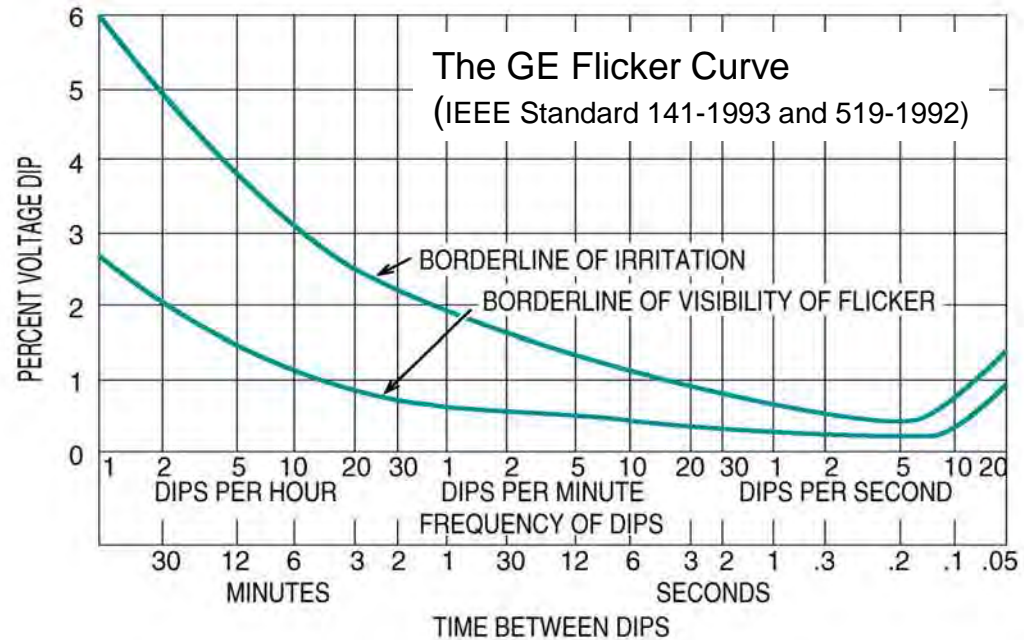
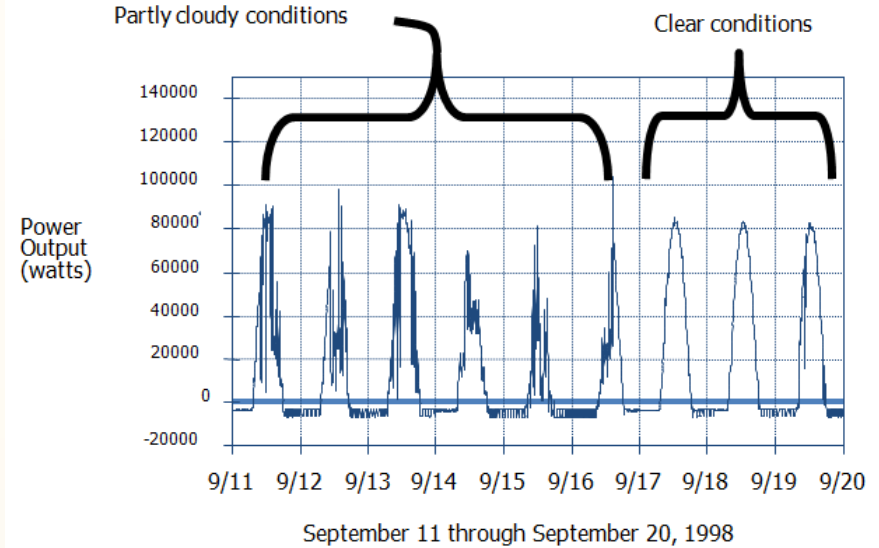


# Power Quality

Interconnecting a large amount of fluctuating generation such as PV (for example) on a circuit

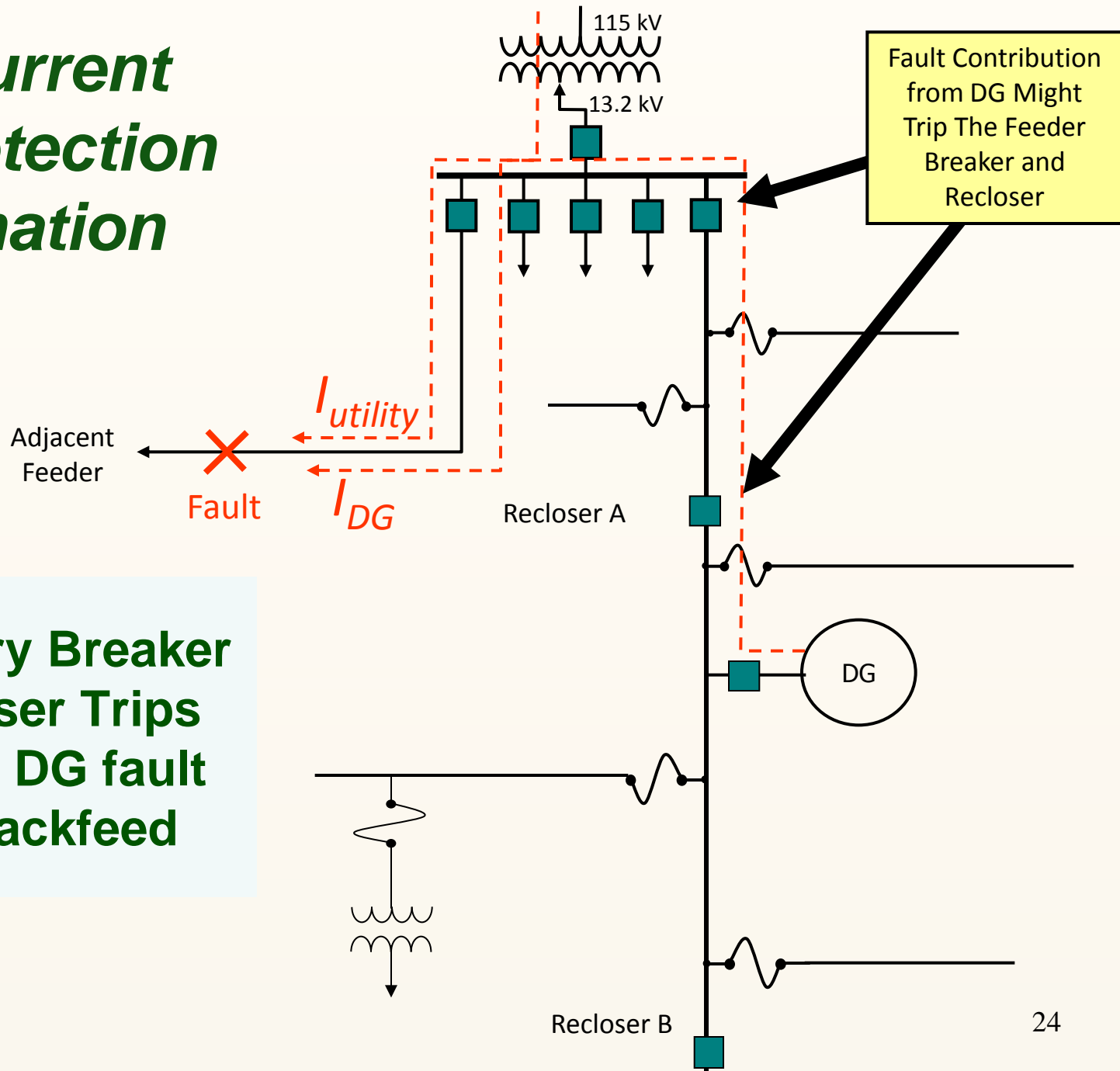


May result in power quality issues such as flicker at the circuit level



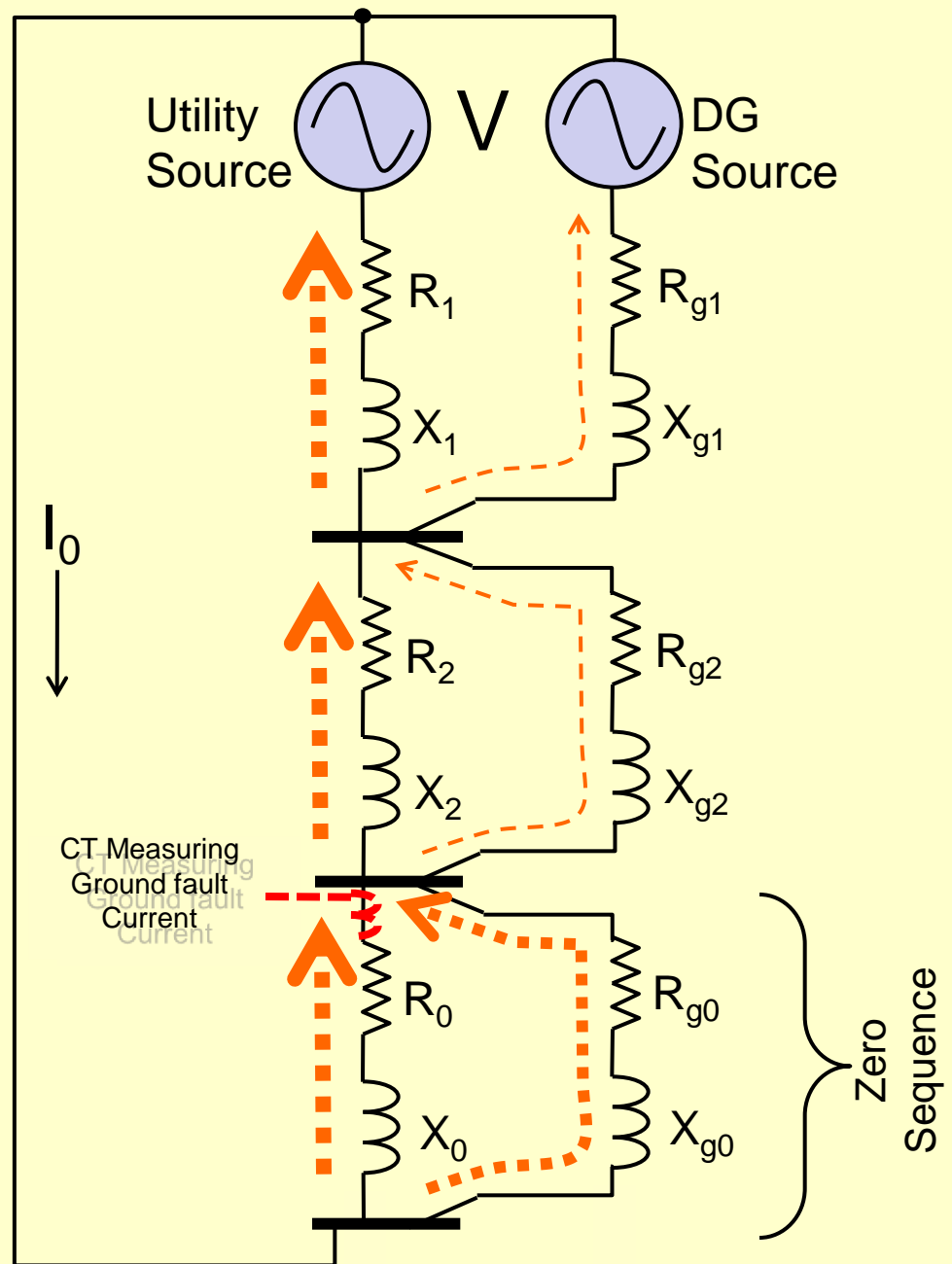
# Fault Current and Protection Coordination

Unnecessary Breaker and Recloser Trips Caused by DG fault current backfeed

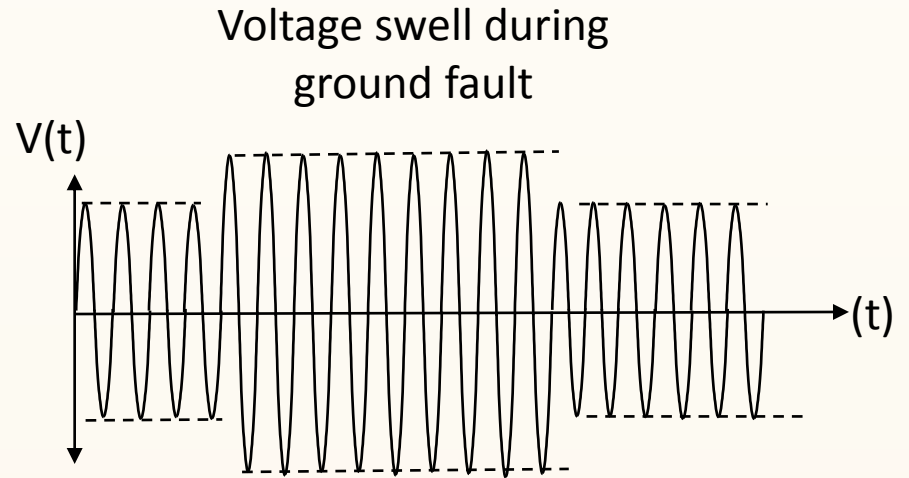
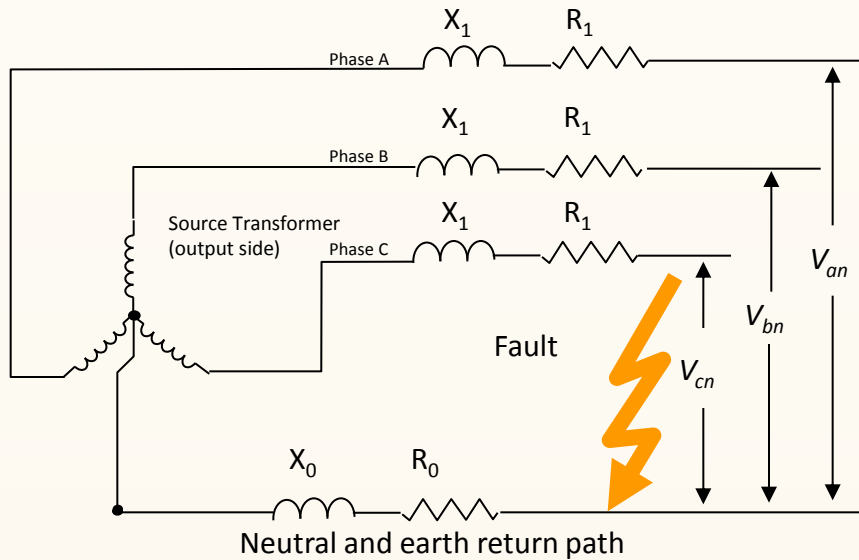


# Ground Fault Current Desensitization

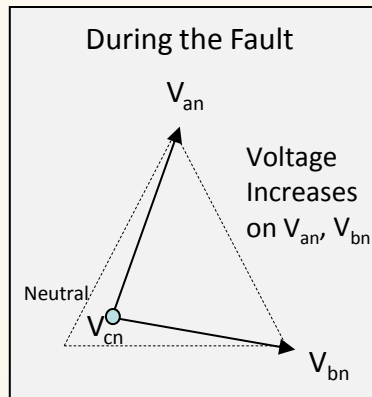
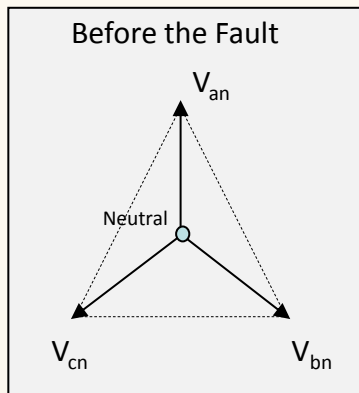
- Too many DG ground sources can significantly bypass ground current at the substation feeder ground current measuring devices
- Result: Substation relays are less sensitive to ground faults on the circuit



# Ground Fault Overvoltage



Ground Fault overvoltage can result in damaging overvoltages on unfaulted phases of up to roughly 170% of the normal maximum system voltage!



**Effective grounding limits the voltage rise on the unfaulted phases to about 125% of nominal during L-G fault on 4-wire multigrounded neutral systems**



# ***Interconnection of Distributed Generation on Island Power Systems***

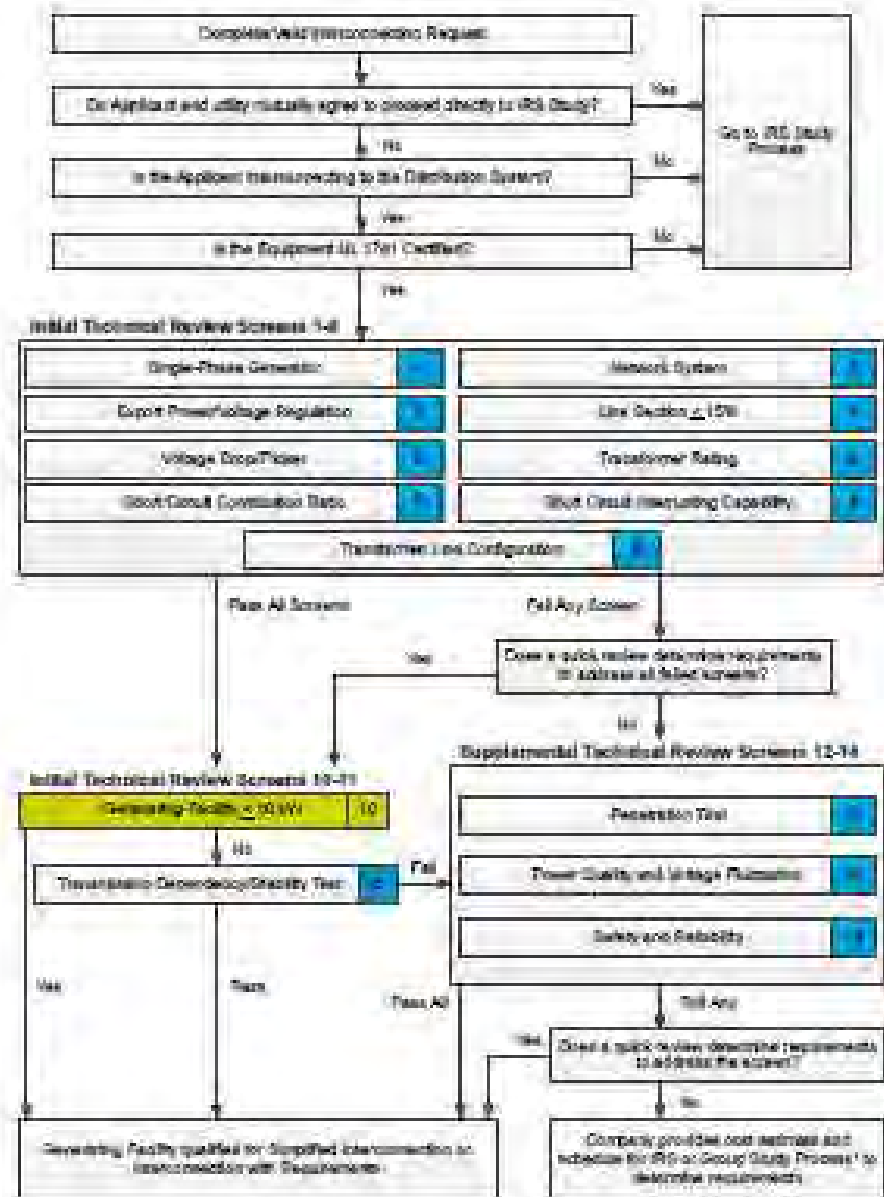
- Present utility issues dealing with interconnection of distributed generation
- Current Hawaii initiatives aimed to address interconnection of distributed generation



# Screening Criteria

- Radial or network
- IEEE 1547 and UL listed device
- Generating facility < 10 kW (expedited review)
- Single phase or three phase
- Line configuration

## TECHNICAL REVIEW PROCESS FLOW CHART





# *Interconnection Requirements Study*

- Rule 14H – interconnection of distributed generating facilities operating in parallel with the company’s electric system
- Interconnection Requirement Study (IRS) may be required for grid tied single phase inverters when aggregate generating capacity exceeds 100% of the distribution circuit’s daytime minimum load (DML).



# *Daytime Minimum Load Calculation*

- Lowest circuit load readings (SCADA or other measurements) between 9am and 5pm from the past calendar year
- Add back 75% of the aggregated PV nameplate capacity rating
- If load data is not available for the 12 month period then add back 50% of the aggregated PV nameplate capacity rating



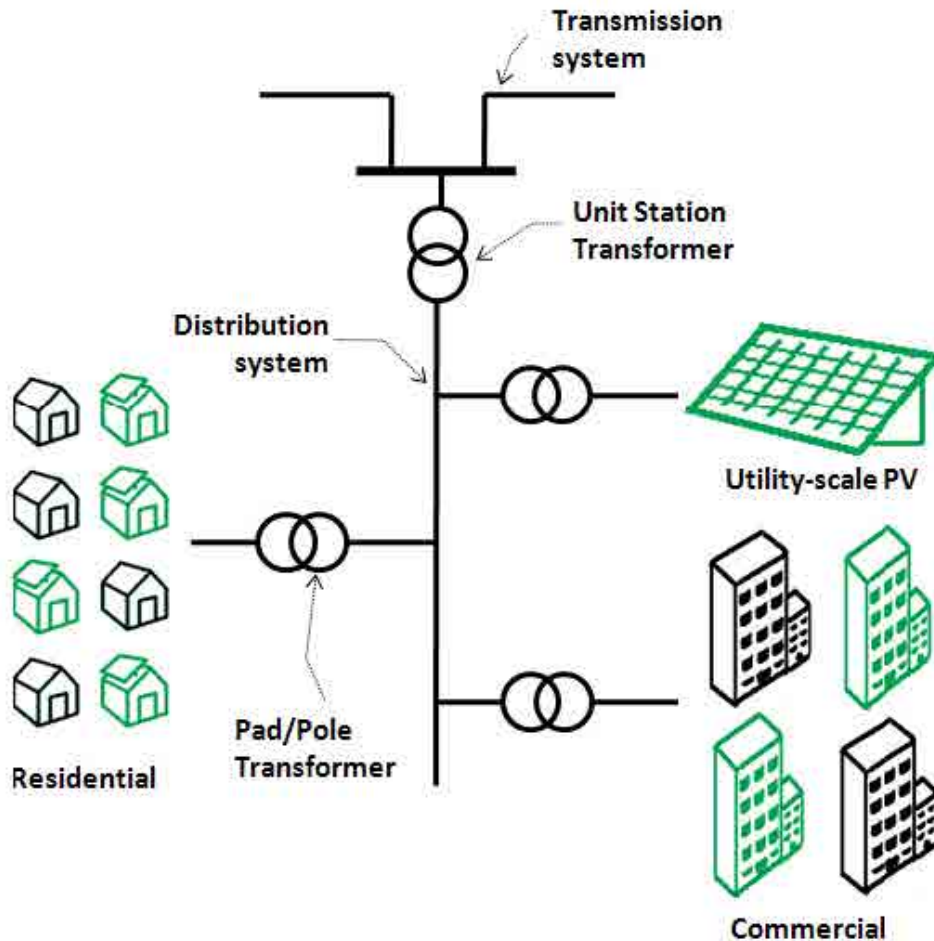
# *Hawaii PV Modeling Efforts*

- Enhancing the distribution system circuit models
  - Integrating generic PV inverter model
  - Ability to conduct scenario-based analysis at the customer level with generic PV inverter models
  - Disaggregate modeling of PV and load at each customer site
- Gathering field data for model validation
  - Monitor and trend data from larger, central facilities
  - Capture geographic distribution across the islands
  - Monitor at customer side, circuit to substation

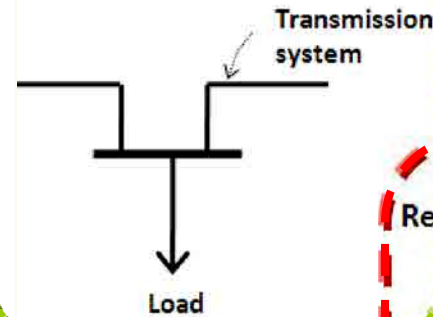


# Equivalent PV Generator

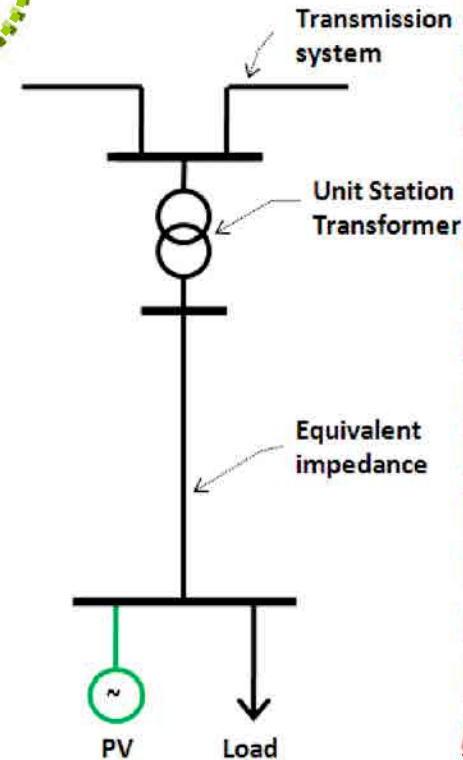
High Penetration PV on distribution system



Typical load flow model



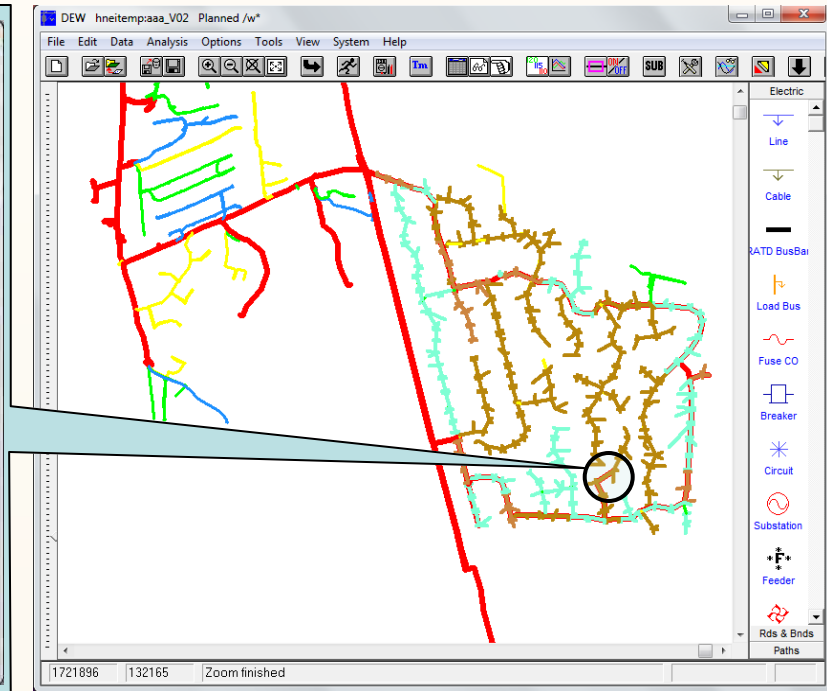
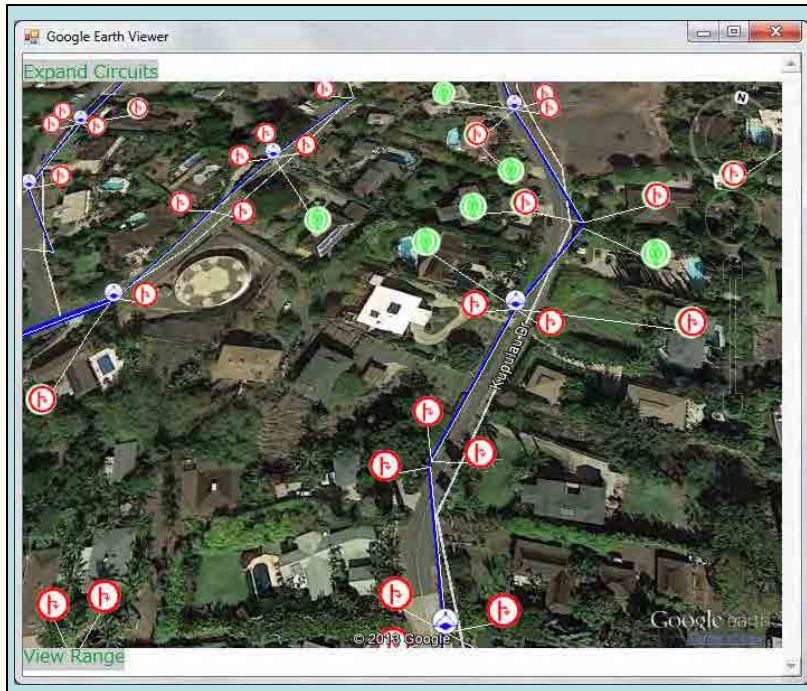
Recommended load flow model



Source: WECC Guide for Representing PV Systems



# Maui Meadows Distribution Circuit IRS Results and Conclusions

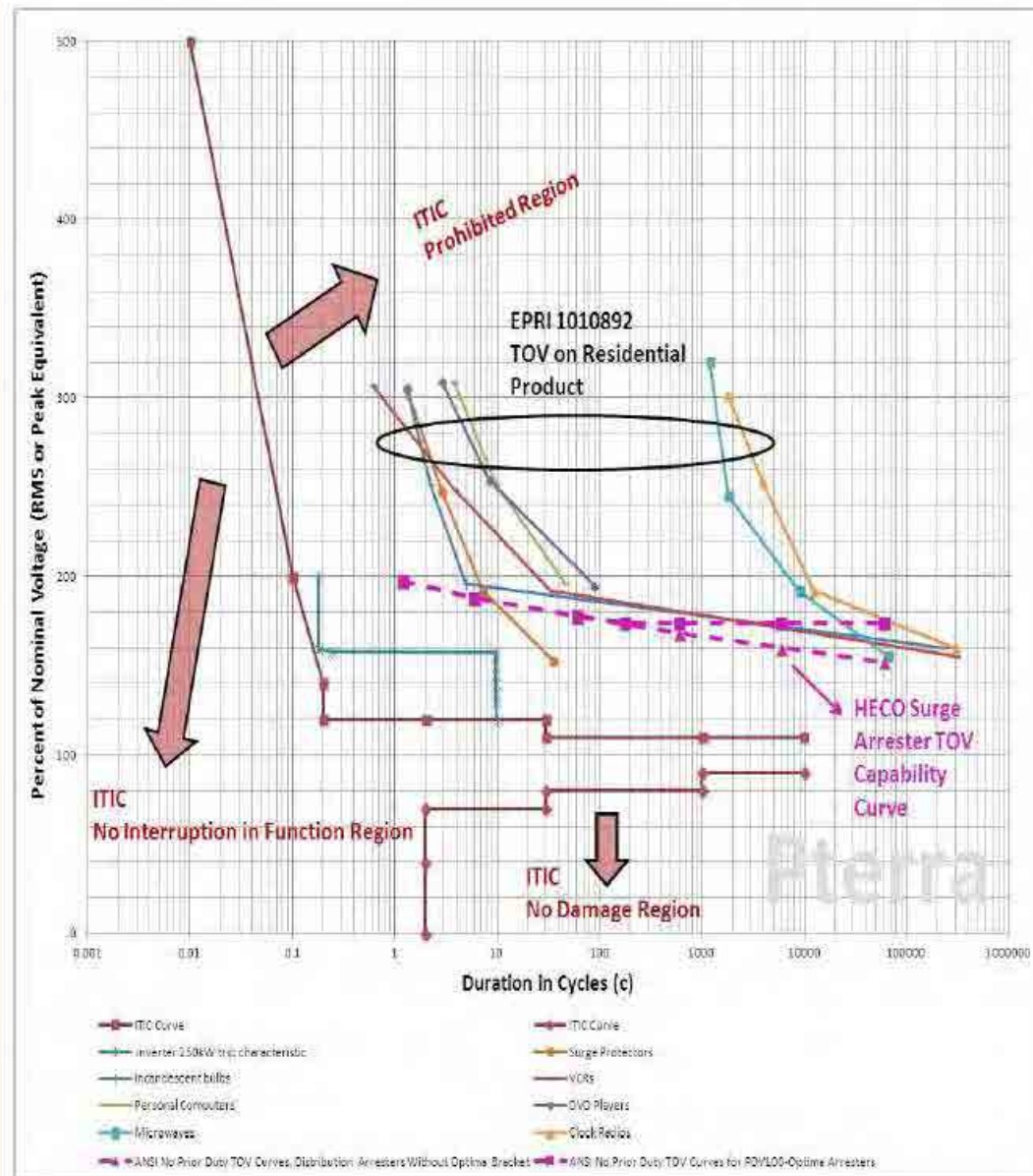


- Potential high voltage at daytime light load conditions with PV operating at full rated output
- Potential ***transient overvoltage*** where aggregated PV is higher than the minimum load
  - Service transformers; fused laterals
- Verification of proper service transformer tap settings
- Feeder / bus voltage regulation
  - Proper LTC setting for the feeder / bus voltage
  - Appropriate voltage range for the entire 24 hour period (with and without PV production)



# Avoiding Transient Overvoltage Conditions

## Information Technology Industry Curve (ITIC)



# Present Hawaiian Electric Companies Ride Through and Trip Settings

Operating Region	Range ( Hz)	Operating Mode	Duration (s)		Return To Service - Trip	
			Ride Through	Trip	Criteria (f)	Time Delay (s)
OFR	$f > 60.5$	Cease to Energize	-	0.1667	$60.0 > f > 59.5$	300
NORH	$60.5 \geq f > 60$	Normal Operation	-	Indefinite	-	-
NORL	$57 \leq f \leq 60$	Normal Operation	-	Indefinite	-	-
UFR	$f \leq 57$	Cease to Energize	-	0.1667	$60.0 > f > 59.5$	300

Operating Region	Range (%/PU)	Operating Mode	Duration (s)		Return To Service - Trip	
			Ride Through	Trip	Criteria (%/PU)	Time Delay (s)
OVR2	$V > 120$	Cease to Energize	-	0.1667	$110 > V > 88$	300
OVR1	$120 \geq V > 110$	Cease to Energize	-	1	$110 > V > 88$	300
NORH	$110 \geq V > 100$	Normal Operation	-	Indefinite	-	-
NORL	$100 \geq V \geq 88$	Normal Operation	-	Indefinite	-	-
UVR1	$88 > V \geq 50$	Cease to Energize	-	2	$110 > V > 88$	300
UVR2	$V < 50$	Cease to Energize	-	0.1667	$110 > V > 88$	300



# Proposed Hawaiian Electric Companies Ride Through and Trip Settings

Operating Region	Range ( Hz)	Operating Mode	Duration (s)		Return To Service - Trip	
			Ride Through	Trip	Criteria (f)	Time Delay (s)
OFR2	$f > 65$	Cease to Energize	-	0.1667	$60.0 > f > 59.5$	600*
OFR1	$F > 63$	Ride Through	20	21	$60.0 > f > 59.5$	600*
NORH	$63 \geq f > 60$	Normal Operation	Indefinite	Indefinite	-	-
NORL	$57 \leq f \leq 60$	Normal Operation	Indefinite	Indefinite	-	-
UFR1	$f < 57$	Ride Through	20	21	$60.0 > f > 59.5$	600*
UFR2	$f \leq 50$	Cease to Energize	-	0.1667	$60.0 > f > 59.5$	600*

\*Maybe adjusted up to 600s at manufacturer election

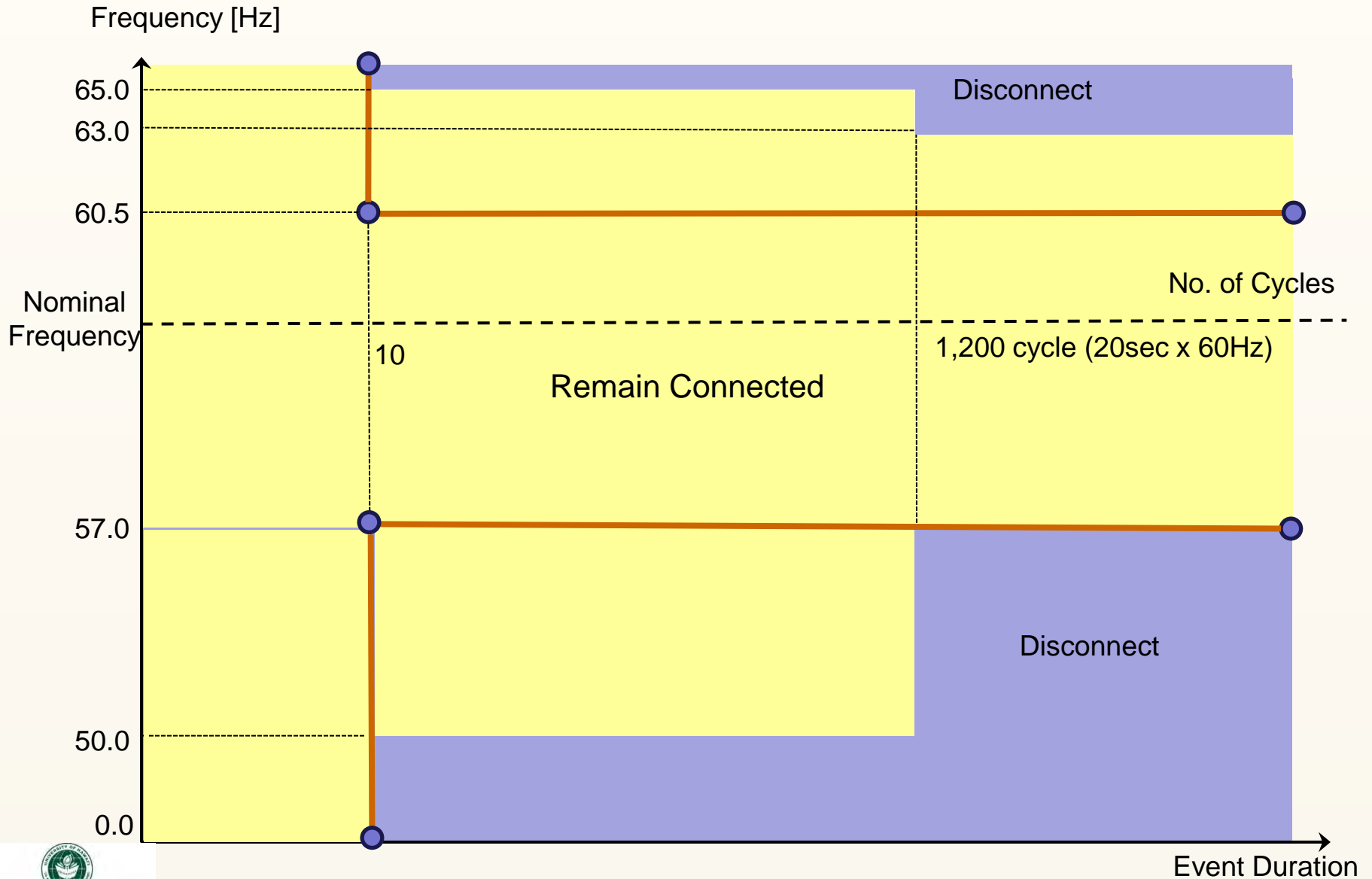
Operating Region	Range (%/PU)	Operating Mode	Duration (s)		Return To Service - Trip	
			Ride Through	Trip	Criteria (%/PU)	Time Delay (s)
OVR2	$V > 120$	Cease to Energize	-	0.01667	$110 > V > 88$	300
OVR1	$120 \geq V > 110$	Cease to Energize	-	1	$110 > V > 88$	300
NORH	$110 \geq V > 100$	Normal Operation	Indefinite	Indefinite	-	-
NORL	$100 \geq V \geq 88$	Normal Operation	Indefinite	Indefinite	-	-
UVR1	$88 > V \geq 70$	Ride Through	20	21	$110 > V > 88$	300
UVR2	$70 > V \geq 50$	Ride Through	10-20*	11-21*	$110 > V > 88$	300
UVR3	$V < 50$	Permissive Operation	-	0.5	$110 > V > 88$	300

\*Maybe adjusted within these ranges at manufacturers election

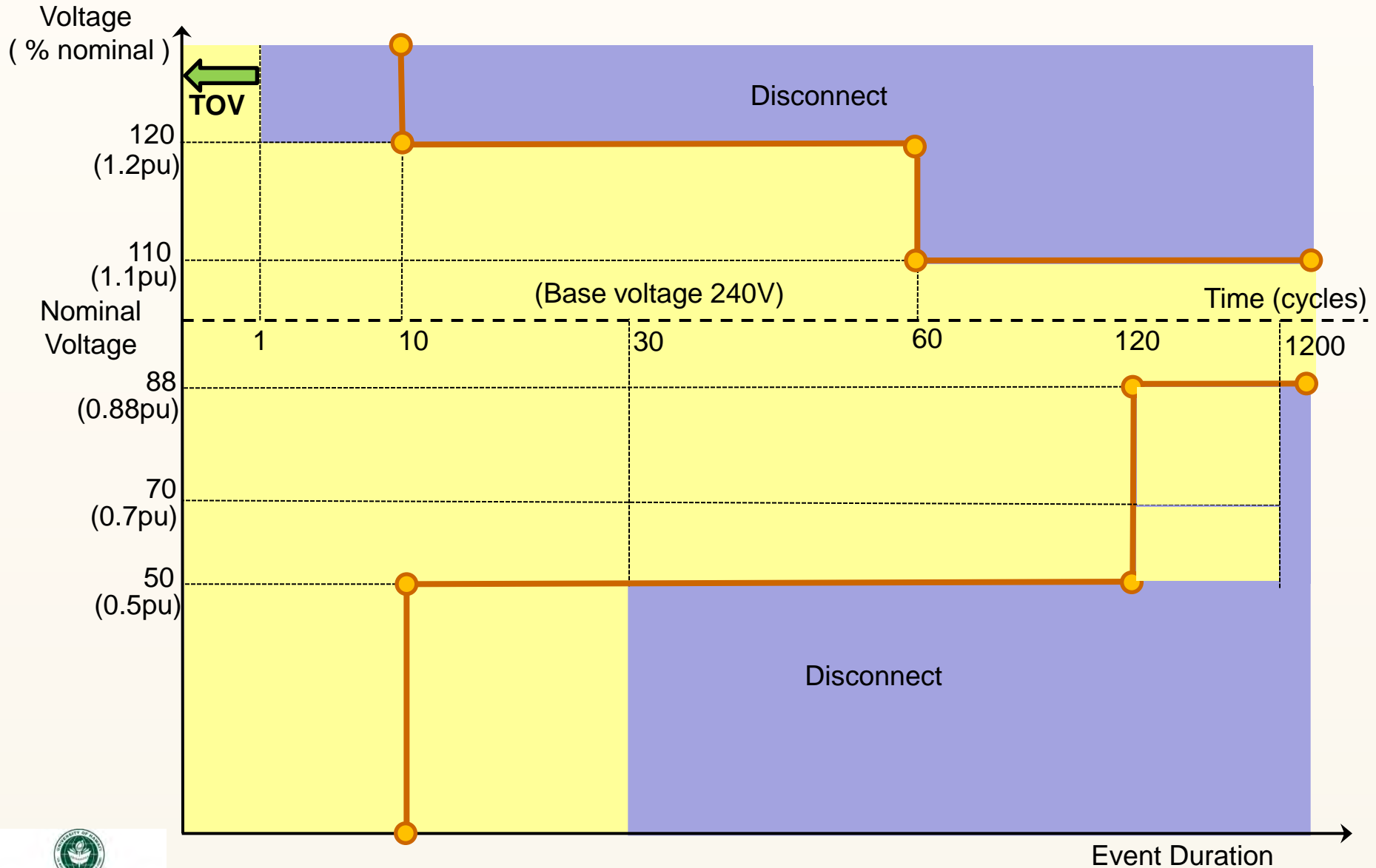




# Frequency Ride Through and Trip Settings

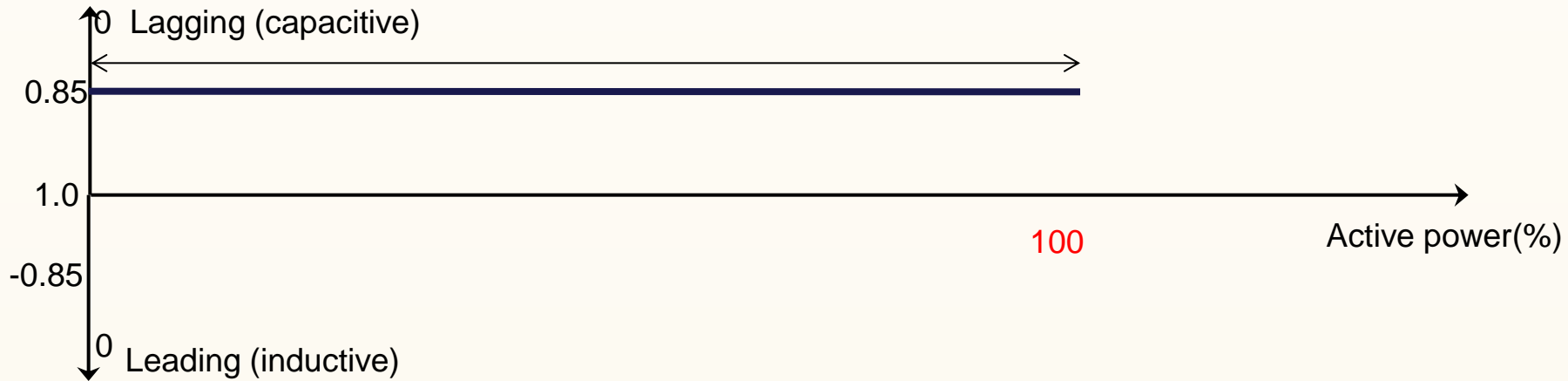


# Voltage Ride Through and Trip Settings

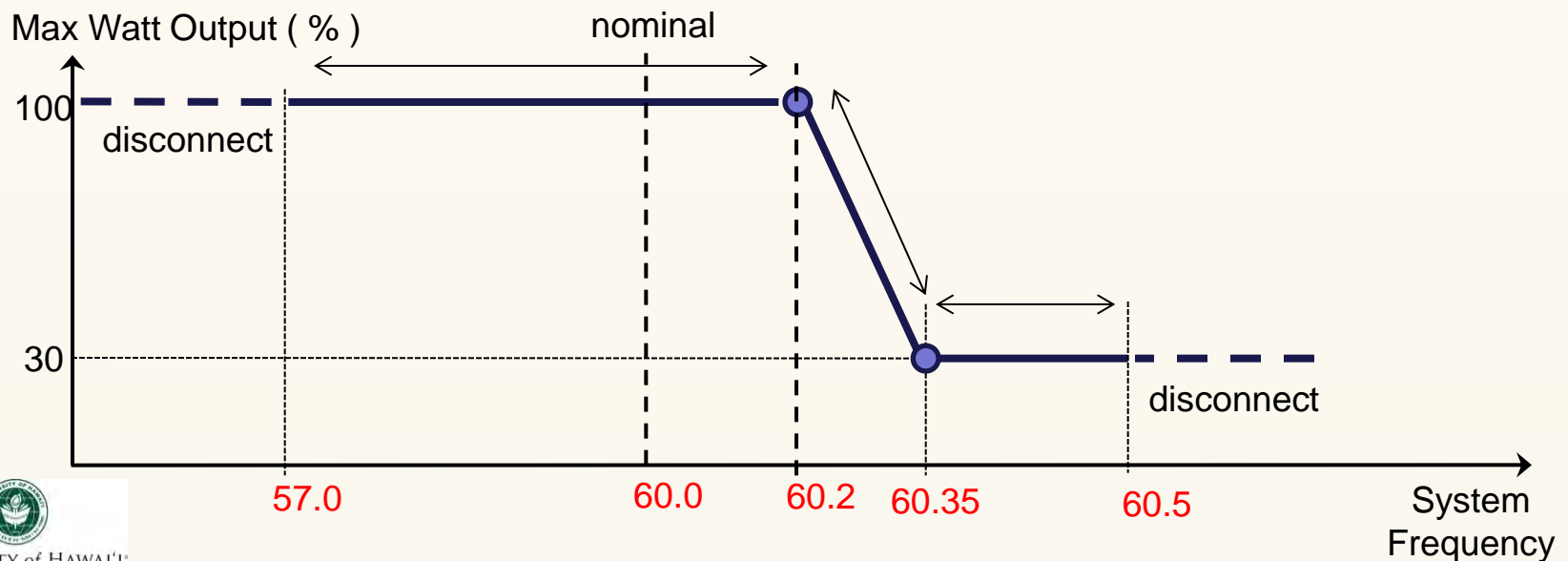


# Advanced Inverter Functions

## [Control Mode 1: Watt-PF]

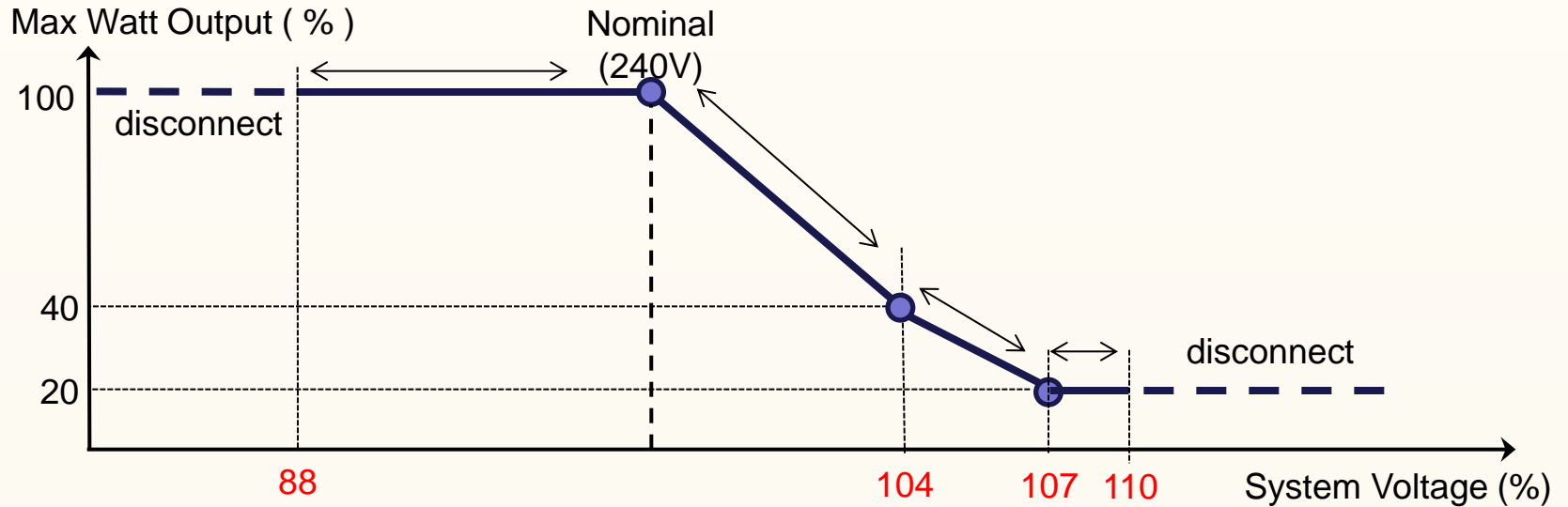


## [Control Mode 2: Frequency-Watt]

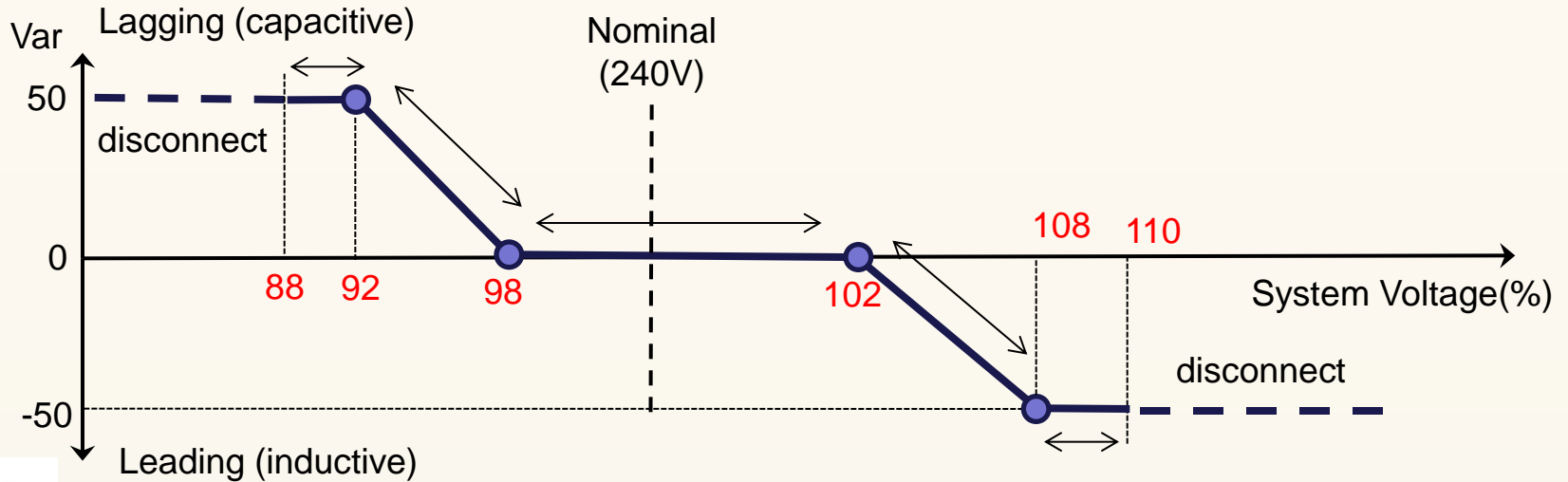


# Advanced Inverter Functions

## [Control Mode 3: Voltage-Watt]



## [Control Mode 4: Voltage-Var]



# FIT Eligibility

Under the guidelines issued by the Hawaii Public Utilities Commission, renewable technologies eligible for the FIT include photovoltaic (PV), concentrated solar power (CSP), in-line hydro (Tier 1 and Tier 2 only), and on-shore wind. See below:

Tier	Project Size
1	0 - 20 kW on all islands
2	Greater than 20 kW and up to and including:  PV: 500 kW on Oahu, 250 kW on Maui and Hawaii, and 100 kW on Lanai and Molokai;  CSP: 500 kW on Oahu, Maui and Hawaii, and 100 kW on Lanai and Molokai;  In-line hydro: 100 kW on all islands;  Onshore wind: 100 kW on all islands
3	Greater than Tier 2 maximums and up to and including the lesser of 5 MW on Oahu and 2.72 MW on Maui and Hawaii or 1% of the system peak load from the previous year, Except that wind generation is precluded on Maui and Hawaii



# FIT Rates

The energy payment rates are determined by the technology type and the size of the project.

Renewable Generator Type and Size	FIT Energy Payment Rate (¢/kWh)	Renewable Generator Type and Size	FIT Energy Payment Rate (¢/kWh)
Tier 1 PV $\leq$ 20 kW	21.8	Tier 3 PV $>$ 500 kW and $\leq$ the lesser of 5 MW or 1% of the system peak load	19.7
Tier 1 CSP $\leq$ 20 kW	26.9		
Tier 1 On-Shore Wind $\leq$ 20 kW	16.1		
Tier 1 In-line Hydropower $\leq$ 20 kW	21.3	Tier 3 CSP $>$ 500 kW and $\leq$ the lesser of 5 MW or 1% of the system peak load	31.5
Tier 2 PV $>$ 20 kW and $\leq$ 500 kW	18.9	Tier 3 On-Shore Wind $>$ 100 kW and $\leq$ the lesser of 5 MW or 1% of the system peak load (Oahu only)	12.0
Tier 2 CSP $>$ 20 kW and $\leq$ 500 kW	25.4		
Tier 2 In-line Hydropower $>$ 20 kW and $\leq$ 100 kW	18.9		
		Baseline FIT Rate	12.0



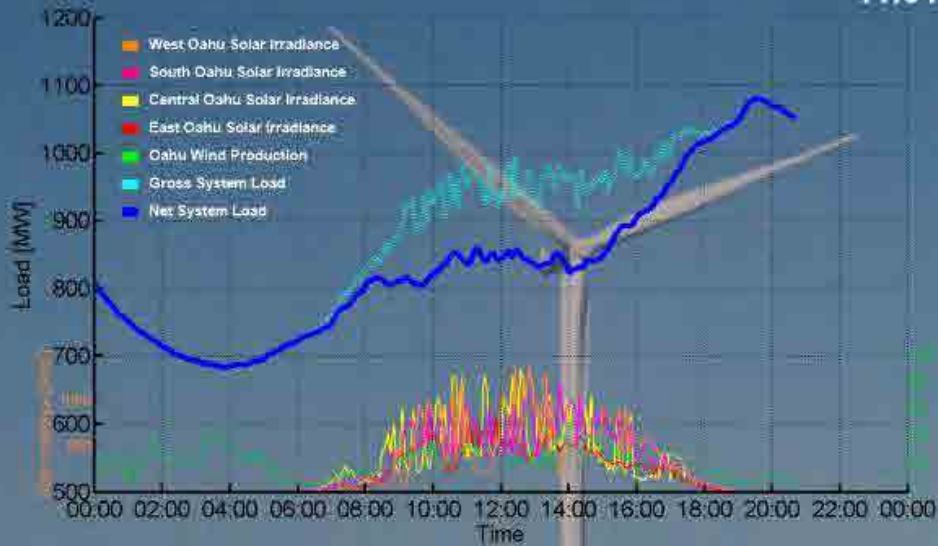
# Hawaiian Electric's "Renewable Watch"

## Renewable Energy Operational Visibility

### Renewable Watch - Oahu

August 17, 2014

11:54 PM



#### Current Renewable Power Production (by regions)

■ West Solar MW: 0     
 ■ Central Solar MW: 0     
 ■ Wind MW: 7.88  
■ East Solar MW: 0     
 ■ South Solar MW: 0

North Solar Information to be included at a later time.

### Information

Renewable Watch shows at a glance the levels of solar and wind power generated on Oahu and how that energy varies throughout the day.

Below Are Descriptions of What Is Currently Displayed:

Net System Load: System Load Served By Hawaiian Electric Company

Gross System Load: Net System Load + Load Served By Behind the Meter PV

West Oahu Solar Irradiance: Solar Irradiance [W/m<sup>2</sup>] Measured in West Oahu

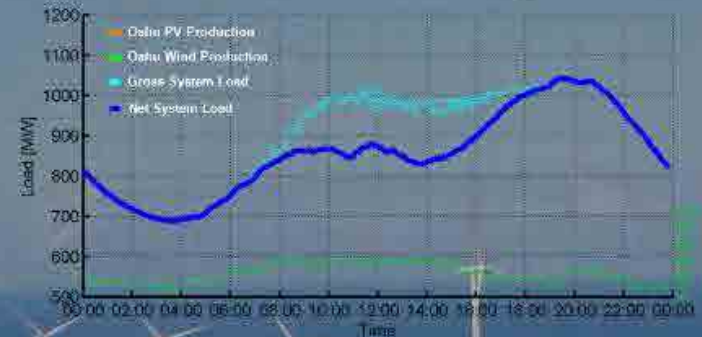
South Oahu Solar Irradiance: Solar Irradiance [W/m<sup>2</sup>] Measured in South Oahu

Central Oahu Solar Irradiance: Solar Irradiance [W/m<sup>2</sup>] Measured in Central Oahu

East Oahu Solar Irradiance: Solar Irradiance [W/m<sup>2</sup>] Measured in East Oahu

Oahu Wind Production: Wind Power Production on Oahu

### Renewable Watch - Previous Day



Today

Tomorrow

Wednesday

83/76 °F  
Mostly sunny

83/76 °F  
Mostly sunny

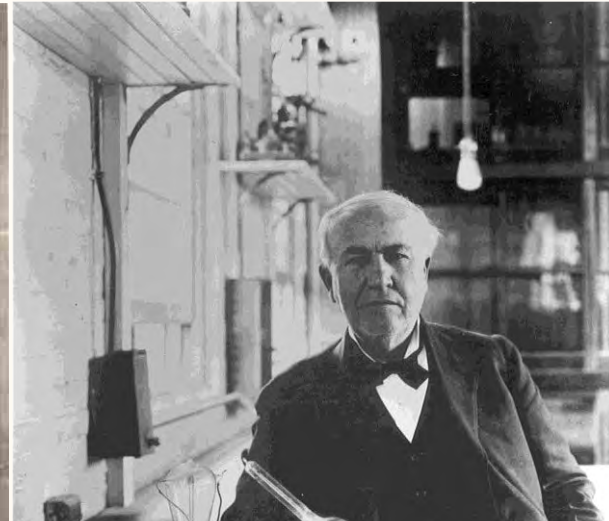
83/76 °F  
Partly cloudy with scattered rain showers



# Hawai'i has a long tradition of pioneering advances in energy ....



On November 16, 1886 -- Kalakaua's birthday -- 'Iolani Palace became the world's first royal residence to be lit by electricity.



Kalakaua Visit – Sept 26, 1881  
Pearl Street Station - 1882





# *Innovation & Collaboration Opportunities Abound*

- **Hawaii** is an ideal 'test bed' to prove concepts and learn lessons about advanced energy technologies
- **Hawaii** continues to grow our successful collaboration with national and international partners and create a leading international showcase of smart energy solutions in action that will ...
  - √ Increase energy independence
  - √ Limit greenhouse gases
  - √ Grow clean energy business opportunities

**A Key to Secure Paradise in Hawaii and  
Establish a Clean Energy Economy**



# ***Mahalo!***

***(Thank you)***



For more information, contact:



*Grid System Technologies Advanced Research Team*

**Leon R. Roose, Esq.**

Principal & Chief Technologist  
GridSTART

Hawaii Natural Energy Institute  
School of Ocean & Earth Science & Technology  
University of Hawaii at Manoa  
1680 East-West Road, POST 109  
Honolulu, Hawaii 96822

Office: (808) 956-2331

Mobile: (808) 554-9891

E-mail: [lroose@hawaii.edu](mailto:lroose@hawaii.edu)

Website: [www.hnei.hawaii.edu](http://www.hnei.hawaii.edu)



# Back-up Slides

# Maui Island Case

*Large Amounts of Wind and Solar Power is Being Integrated Today*



**Kaheawa I  
(30 MW)**

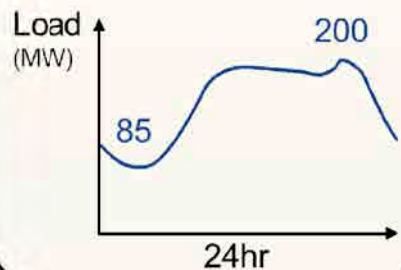


**Kaheawa II  
(21 MW)**

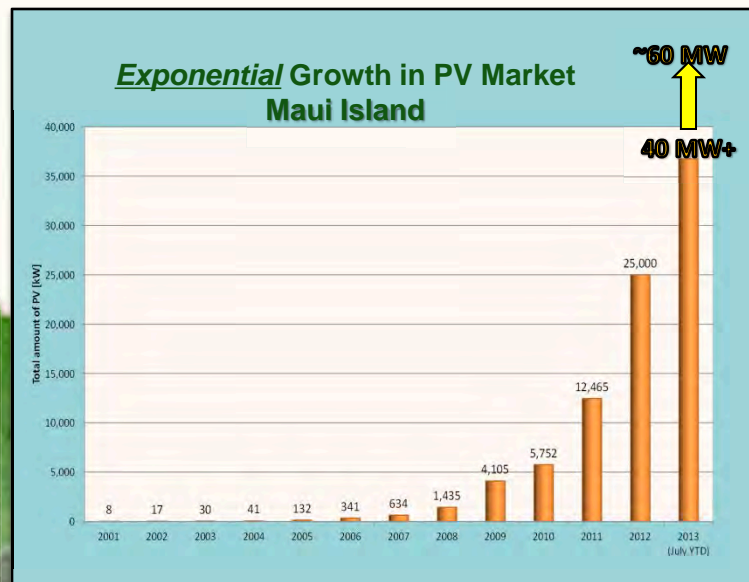
**72 MW Wind  
+ 60 MW PV  
132 MW Total**

**63,000 Customers**

**Daily Load Shape**



**Auwahi  
(21 MW)**



# ***Maui Island Test Bed***

## ***A Model of Smart Grid Innovation & Collaboration***

- **Maui Smart Grid Project (2009) ~\$12 M**
  - US DOE funded, ***HNEI led*** project to integrate smart grid technology to achieve reduced peak load on a distribution circuit and better management of intermittent renewable energy
- **Maui Advanced Solar Initiative (2012) ~\$11 M**
  - US DOE funded, ***HNEI led*** project to develop and demonstrate advanced PV inverter functionality in a smart grid environment
- **JUMPSmart Maui (2011) ~\$30 M**
  - NEDO funded, ***Hitachi led*** project to integrate high levels of PV, wind energy, and EV into an island wide smart grid environment
- **Great Maui Project (2013) ~\$20 M**
  - NEDO funded, ***Hitachi led*** phase 2 of JUMP Smart Maui project, to demonstrate *EV vehicle-grid and Virtual Power Plant* integration

***All projects have partners in common and share hardware, results, and lessons learned***





# US DOE Renewable Distributed Systems Integration (RDSI)



**Hawaii Natural Energy Institute**  
University of Hawaii at Manoa



**Maui Electric**



**Hawaiian Electric**



**ALSTOM**



**Sentech, Inc.**



UNIVERSITY of HAWAII<sup>®</sup>  
**MAUI COLLEGE**



<http://www.mauismartgrid.com/maui-smart-grid-project-description/project-team>

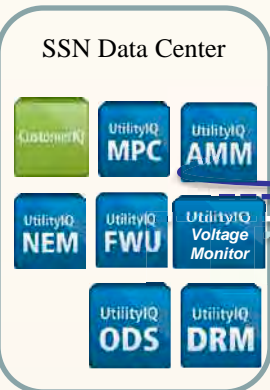
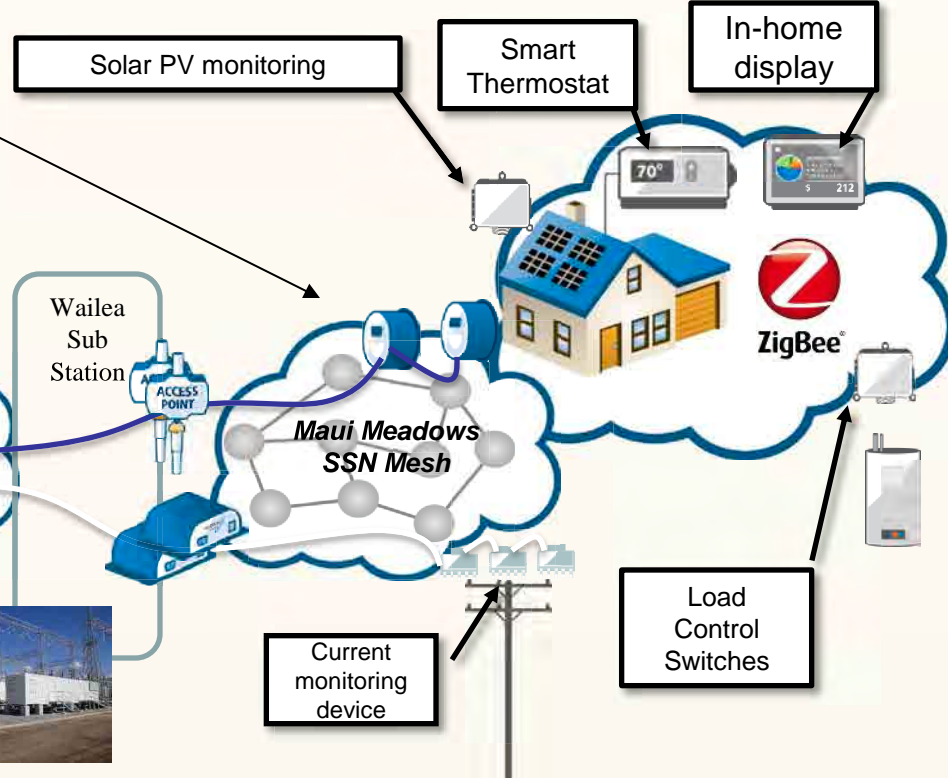
# Project will Manage Distributed Energy Resources (DER) to Support Grid Operations

## Advanced Metering Infrastructure

Two-way comms  
Voltage monitoring  
Outage detection

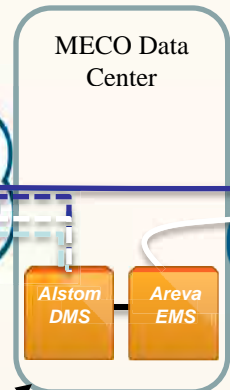
## Home Area Network

Demand response  
Monitor PV  
Customer feedback

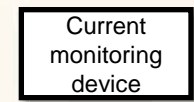
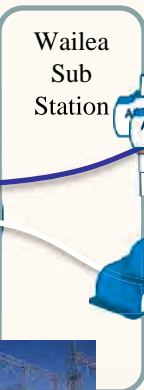


## Distribution Management System

Aggregate DER  
Decision support  
Volt / VAR Control  
Improve visibility

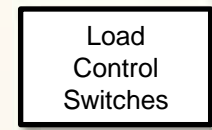


## Battery Energy Storage System



## Distribution Monitoring

Current measurements





**Maui  
Electric**



**Hawaiian  
Electric**



## Research Project lead

- Project oversight, management and direction
- Smart Inverter application design; performance and data analytics

## Communications and Customer Engagement technology lead

- Mesh com system; Inverter management & control system software
- Customer engagement via PV customer portal

## Inverter technology leads

- Develop advanced control functions in inverter; Lead the integration of communications with advanced inverter

## Host utility in Hawaii

- Inverter operations for field pilot; performance evaluation

## Co-Services lead – established PV provider in Maui

- Sales, marketing, installation, project management, customer service

## Host utility in Washington DC, Maryland, New Jersey

- Inverter operations for field pilot; performance evaluation

## Co-Services lead – established PV provider in PHI service territory

- Sales, marketing, installation, project management, customer service

## Inverter Testing Laboratory Facility

- Site of functional requirements and inverter testing



# Solution Architecture of Smart Grid Enabled PV Inverters

## Utility Back Office Systems

### Inverter Management & Control Software

- Provision inverter on network
- Manage PV Production Data
- Send control signals to inverter
- Monitor status of inverter

**Inverter Mgmt Control Software**

**CustomerIQ**

- Customer IQ**
- Utility web portal
  - Customer can see household consumption & solar production

## Smart Grid Network

### Silver Spring Networks Network Interface Cards

- 900 MHz utility smart grid network to back office systems
- SEP 2.0 over 2.4 GHz ZigBee to inverter
- Send inverter control signals through network
- Retrieve home net energy use data

## Home

### Smart Meter

- Utility owned
- Home's primary meter
- Reads net energy use and voltage (15 min. interval)



**Fronius or Hitachi Inverter**



**Web Portal**

- ZigBee to ModBus Communications Module
- SEP 2.0 DER



### Obvious Power Monitor

- HNEI owned
- Inverter AC output
- Volts, Watts, VArS, etc. (1 sec interval)

**Silver Spring Networks Access Point**



**900 MHz**

**900 MHz**

**2.4 GHz**



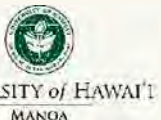
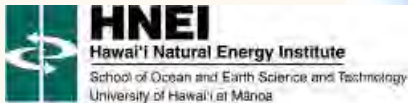
**Data Archive**

# JUMPSmart Maui

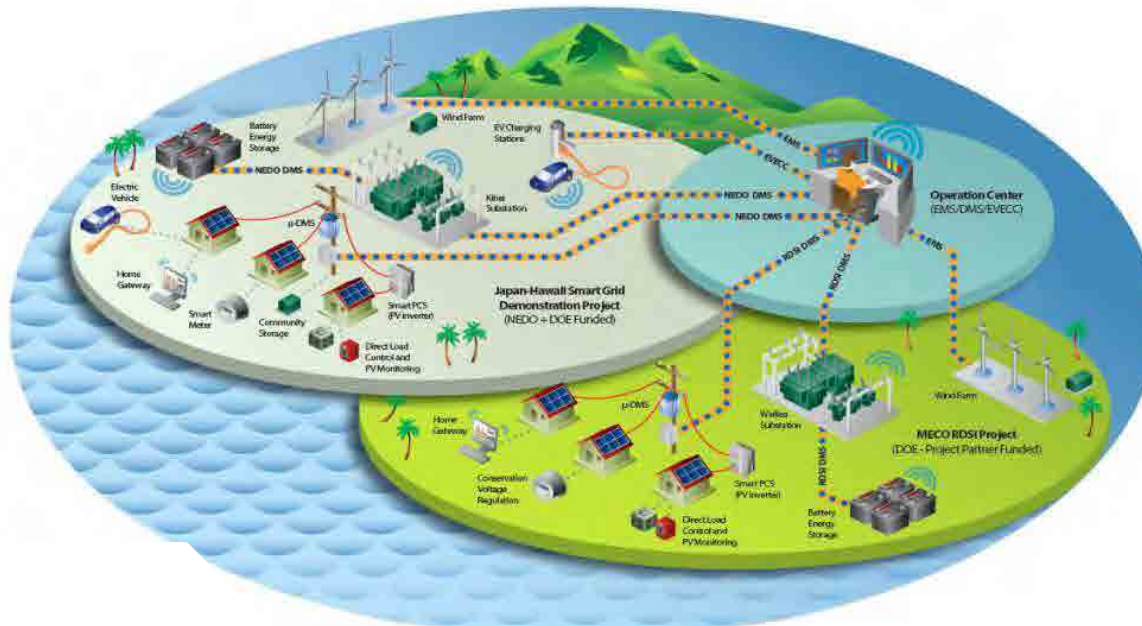
A Japan – United States Smart Grid Demonstration Project



**HITACHI**  
Inspire the Next



In Maui, large scale renewable energy (72MW of wind and 60+ MW of distributed PV) has been introduced. In addition, many electric vehicles (EV) are expected soon.



## Issues

- Excess Energy
- System Frequency Impact
- Distribution Line Voltage Impact

## Solutions

- Integrated DMS
- μDMS & Smart PCS
- EV charger control
- Battery system
- Direct Load Control
- ICT Platform

## Basic Policy for Demonstration

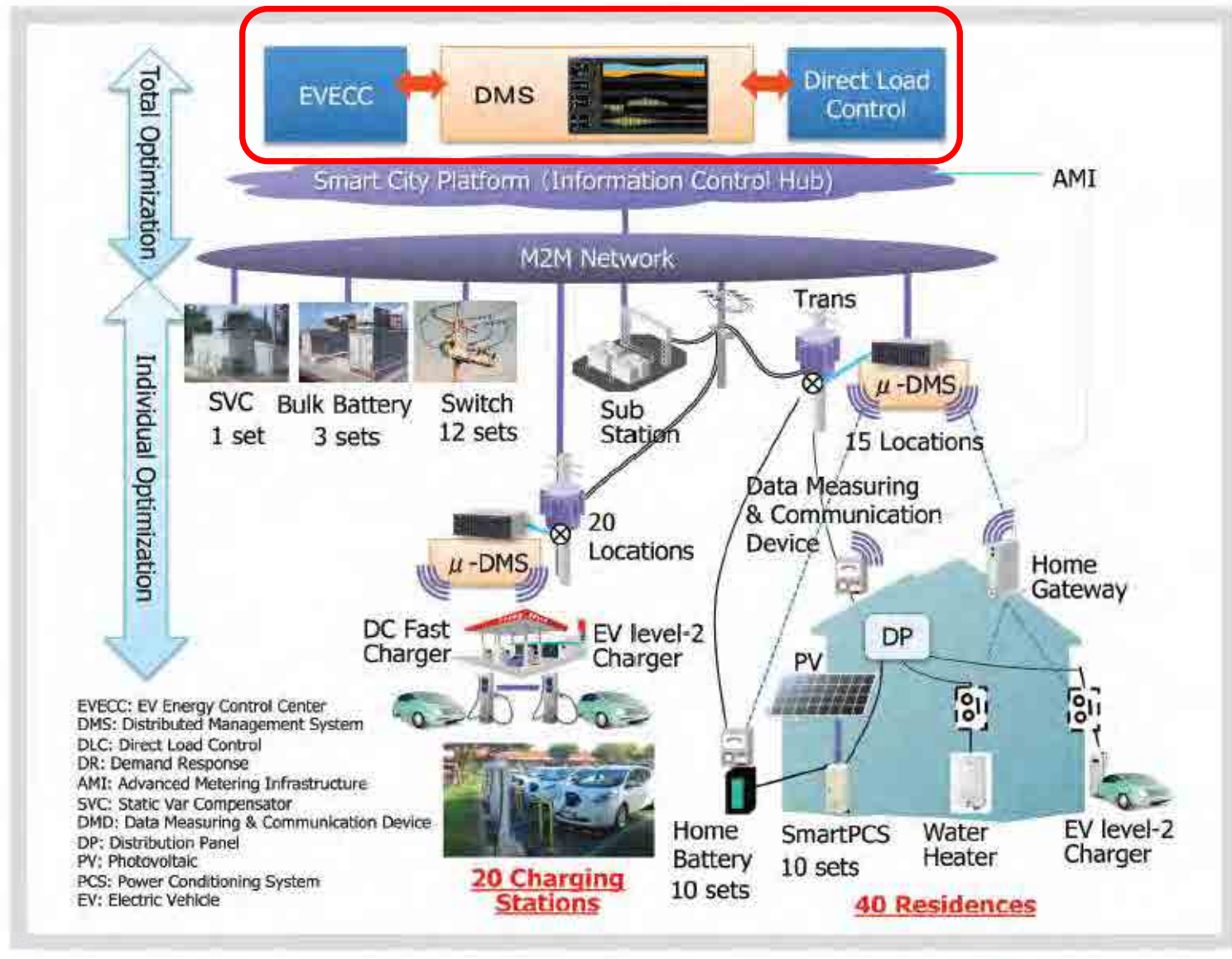
Maximize Utilization of Renewable Energy (RE)

Stable Supply of Electric Power

Solution for Impact of EV & PV High Penetration



# Overall View of System Configuration



# EV Fast Charging Stations on Maui



# Great Maui Project

## Development of VPP solutions in Maui

