# 40. 多様な環境技術とCO<sub>2</sub>モニタリング装置を組合せた シールド環境対応システムの開発

株式会社フジタ 株式会社フジタ

〇 平野 高嗣 川上 勝彦

## 1. はじめに

現在,国家レベルで地球温暖化対策が推進され,特に温室効果ガス削減が義務化されつつある。

また改正省エネ法により製造業や流通業などが, 次々とエネルギー使用量を定量的に分析して削減 を推進している。

対して建設業では、建設中のエネルギー使用量の分析と削減が、リース品を主体とした仮設機器であるため容易ではく、使用機器の消費電力は、 月毎の総量でしか管理出来ないのが現状である。

また、省エネ活動もアイドリング防止や消灯など、定性的な取り組みが多く、定量的に効果を検証することが難しい。

そこで、フジタでは施工時に仮設機器のエネルギー起源による  $CO_2$  の削減を目的として、現場全設備の電力使用情報や、重機等の内燃機関の稼動量(排出ガス量)を比較的容易に「見える化」する技術、 $CO_2$  モニタリングシステム「FCMS (Fujita  $CO_2$  Monitoring System)」を開発し、運用を開始している。

これは各機器の消費電力量データのサーバーへの蓄積・一元管理と、重機の燃料消費モニタリングによるエンジンからの $CO_2$ ガス排出状況の計測等、個々の稼働状況から、 $CO_2$  発生量が簡単なシステム設置工事で把握出来るシステムである。

使用電力や燃料消費を解析し、非効率な機器の 稼動改善や重機の省エネ運転を動機づけることで、 省エネかつ効率的な施工が可能となった。

さらに平行して $CO_2$ 削減として,クレーンの電力回生システムや太陽光発電,風力発電,LED照明の採用等,個々の $CO_2$ 削減技術にも取り組み,その効果の検証をおこなった。

本論では、これらの技術をシールド工事に導入 し、「フジタ高環境シールド」として、工事の省エ ネ化に取り組んだ導入実績を報告する。

# 2. FCMS の概要

本システムは、出来るだけ作業所での作業負担

や導入コストを低く抑えることを主眼において開発した。そこで、システムは本社のサーバーで一元管理し,作業所にはネットワーク通信機能を有するデータ計測端末のみを設置する形式とした。

データ授受等は現地状況に応じて,数種類の通信手段を用意している。

リアルタイム状況確認や解析用の画面は、各々の PC に管理ソフトをインストールする必要が無い Web 画面で確認できるようにしている。

現状での計測対象としては、作業所での CO<sub>2</sub> 発生量に影響が大きい電気(電力モニタリング)と 内燃機関(重機モニタリング)としているが、必要に応じてガス・工事用水などのデータ計測・管理も可能である。

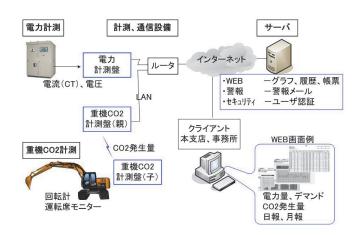


図-1 FCMS システム概要図

本報告は、施工延長約 1500m 仕上り内径約 7m の泥水シールド工事を事例に、計測システムの導入事例を記す。

# 2.1 電力系システム

負荷設備別に63箇所および高圧受電点1箇所で 計測をおこなった。

なおシールド掘進機は1台の負荷として取扱い, 照明設備は区分毎に1群として計測した。

データとして,

・「有効電力」「無効電力(遅れ,進み)」「力率」

「周波数」

- ・「有効電力量」「無効電力量 (遅れ, 進み)」「発 電電力量」
- ・「瞬時 CO2 発生量」「積算 CO2 発生量」
- ・「デマンド値」「電気料金」
- の現在値が表示可能である。

作業所の電力使用量の傾向把握だけであれば有 効電力とデマンド値が「見えれば」(図 - 2) 十分 可能であるが、削減検討の段階では、出来るだけ 細分化した負荷別に「見える化」(図 - 3) をおこ なうほうが改善ポイントの抽出が容易になる。

そこで多数の箇所で計測するために,直列計測より若干精度は落ちるが写真-1 に示すように CT を用いた方法を採用し,設置工事の簡便化を図った。電力用データ計測端末は6箇所の同時計測が可能であり,機器コストも抑えることが出来る。

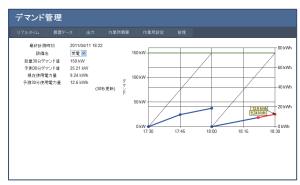


図-2 30 分最大需用電力管理画面例

		歴デー					業所权要	10-ma			ma 200						
27	プルタイム 履	歴テー	-9	ж7	,	17	采用权要	1	作業所設定	E	管理						
£6	5/‡ 1/1															1<-	ジ/ 20 , 50 , すべて
No	設備名称	有効 電力 (kW)	無効 電力 (kVar)	日最有電(kW)	力率 (%)	周 波 数 (Hz)	受電 有効 電力量 (kWh)	受電 無効 電力量 (kVarh) 遅れ		発電 有効 電力量 (kWh)	発電 無効 電力量 (kVarh) 遅れ	発電 無効 電力量 (kVarh) 進み	瞬時 CO2 排出量 (kg/h)		瞬時 CO2 排出量 (kg/h) 皮相	積算 CO2 排出量 (kg) 皮相	計測時刻
1	21	96.03	-429	710	-22	50	2210790	10593	276186	. 0	0	0	32.6	749458	149.0	1075690	2013/01/13 17:19
2	計測電源	0.06	0	0	100	50	447	0	0	0	0	0	0.0	152	0.0	152	2013/01/13 17:19
3	立坑下電灯盤	0.41	0	0	100	50	3341	3219	0	0	0	0	0.1	1133	0.2	1573	2013/01/13 17:19
4	現場電灯盤	0.17	0	0	100	50	2372	397	112	0	0	0	0.1	804	0.1	816	2013/01/13 17:19
5	プラント側電灯幹線	0.27	0	2	100	50	2897	2748	0	0	0	0	0.1	982	0.2	1353	2013/01/13 17:19
5	立坑下坑内幹線	7.16	1	7	99	50	16843	3038	1	0	0		2.4	5710	2.5	5802	2012/12/16 13:00
,	表込ブラント	0.00	0	7	100	50	6376	14600	0	0	0	0	0.0	2162	0.0	5401	2012/12/16 13:00
3	倉庫、LEDSR#月	0.00	0	0	100	50	2295	4	0	99	0	- 4	0.0	778	0.0	778	2012/12/16 13:00
3	テントハウス	0.00	0	0	100	50	783	156	84	0	0	0	0.0	266	0.0	272	2012/12/16 13:00
10	立坑上下動力	27.73	23	66	76	50	183155	141689	0	0	0	0	9.4	62089	12.3	78500	2012/12/16 13:02
11	机理的偏2	2.97	13	4	22	50	58958	114724	0	0	0	0	1.0	19987	4.6	43727	2012/12/16 13:02
12	机理的偏分	0.00	0	0	100	50	306	501	38	14	30	1	0.0	104	0.1	199	2012/12/16 13:02
13	摂動ぶるい1	0.00	0	3	100	50	134863	85914	0	0	0	0	0.0	45718	0.0	54207	2012/12/16 13:02
14	揺動ぶるい2	0.00	0	2	100	50	128283	82517	0	0	0	0	0.0	43488	0.0	51708	2012/12/16 13:02
15	PERC/J	0.00	0	0	100	50	100142	20579	0	0	0	0	0.0	33948	0.0	34657	2012/12/16 12:49
16	Pレボンブ	0.00	0	12	100	50	120137	78538	0	6	0	20	0.0	40726	0.0	48657	2012/12/16 12:49
17	Pmボンブ	0.00	0	0	100	50	3018	11207	0	0	0	0	0.0	1023	0.0	3934	2012/12/16 12:49
18	送液P1	0.00	0	0	100	50	81336	12461	0	0	0	0	0.0	27573	0.0	27895	2012/12/16 12:49
19	送液P2	0.00	0	0	100	50	69475	10338	0	0	0	0	0.0	23552	0.0	23811	2012/12/16 12:49
20	送液P3	0.00	0	0	100	50	74684	11378	0	0	0	0	0.0	25318	0.0	25610	2012/12/16 12:49
21	72.21	0.00	0	0	100	50	6457	9588	0	0	0	0	0.0	2189	0.0	3919	2012/12/16 12:51
22	プレス2	0.00	0	51	100	50	10178	13947	0	0	0		0.0	3450	0.0	5853	2012/12/16 12:51
22	1.72	0.00	0	20	100	50	7085	10210	0	0	0		0.0	2502	0.0	4272	2012/12/16 12/51

図-3 負荷設備一覧表示画面例



写真-1 CT取付け状況

## 2.2 建設機械(内燃機関)系システム

掘削土搬出用の油圧ショベルの計測を実施した。 内燃機関の CO<sub>2</sub> 排出量の計測方法としては

- ① 排気ガスの直接計測
- ② エンジン回転数と CO2 発生量の相関から算出
- ③ エンジン回転数から燃料消費を予測して算出
- ④ 燃料使用量から算出

の4つが代表的な方法であるが、本システムでは、正確さ、コスト、装着の容易さ、から②を採用している。この方法はエンジン回転数と CO2 発生量の相関関係が必要であるが、代表的な油圧ショベル用エンジンに関しては、事前のデータ計測により相関グラフ(図-4)を作成している。

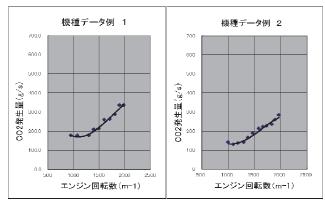


図-4 エンジン回転数-CO<sub>2</sub>排出量相関例

また,データが無い機種に関しては直接計測して相関式を作成するが,エンジン回転計と CO2 センサーを用いて1機種1時間以内で計測できる。

ここでエンジン回転の検出について述べるが, 通常用いる光学式回転センサーでは狭いエンジン 室内では取り付けが非常に難しく,また不具合も 発生しやすい。

そこで写真-2に示すように、エンジン補器に貼り付けるだけでエンジン回転の計測ができるセンサーを開発し導入をおこなった。このことにより、入れ替わりの多いリース機械でも簡単に対応可能となり、導入が容易となった。

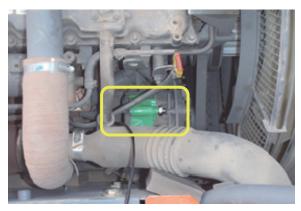


写真-2 エンジン回転センサー取付け状況

また、オペレーターが自機の CO2 排出状況がリアルタイムに「見える化」できるよう運転席内にモニタを設置(写真-3)した。このモニタはタッチパネルになっており、重機機種や通信の設定等が可能になっている。



写真-3 運転席内モニタ

なお,重機用の計測端末は中継型の無線ネット ワーク装置を使用し,中継点を適切に配置すれば 通常の作業所の敷地範囲内においては無線ネット ワークが容易に切断しないシステムとなっている。

## 3. 省エネーCO<sub>2</sub>削減の取組み

本事例では $CO_2$ 発生量削減の主な取組みとして、 先に述べたモニタリングシステムによる「見える 化」以外に

- ・ 再生可能エネルギーの導入
- ・ クレーン回生電力利用
- ・ 無効電力の削減
- ・ 省エネ型照明器具の採用
- 負荷の非効率な運転状態の是正
- ・ 掘削汚泥の減容化
- ・ 重機の省エネ運転

に取り組んだ。以下にその概要を報告する。

# 3.1 再生可能エネルギーの導入

作業所は海浜地区にあり、良好な日照と海風が期待できるため、太陽光発電と風力発電の2種を導入し評価した(場所は東京)。

導入した太陽光発電システムの最大出力は単相 16.6kW で,1 ヶ月当りの発電実績は,夏期平均 2400kWh,冬期平均1500kWhという結果であった。

発電可能な日照時間を夏期8時間、冬期5時間とし、天候を考慮にしないで平均発電量を算出すると10kWhとなる。よって日照時間中の効率は最大出力を100%とした場合、平均63%という結果となった。(24時間とした場合では平均効率は14%)

風力発電の導入に関しては、大型のものは非常

に導入コストがかかるため、実験的にローター直径 1300mm、発電能力 1.5kW(風速 15m)、0.4kW(風速 7m)の小型のものを導入した。太陽光と比べて日照の無い状態でも発電可能であるため設備照明の補助として位置づけた。発電量の 1 ヶ月当りの発電実績平均値は 80kWh という結果であった。これも、風速 7m 時の発電量を 100%として効率を計算すると約 28%という結果となった。ちなみに、東京の年間平均風速は約 3.2m/s である。

いささか乱暴ではあるが、以上の結果で評価すると、日照時間中の効率は太陽光が著しく優れているが、24時間で評価すると風力発電の効率のほうが若干優れる結果となった。ただし、発電量に対する導入コストに関しては、広く普及している太陽光発電が遥かに優れる状況にある。

### 3.2 クレーン回生電力利用

クレーンで巻き下げ動作をおこなう際、荷重で モーター軸が回されて電気が発生する。通常この 電気は不安定なため回生ブレーキ装置で熱に変化 して放出することが多いが、この電気を再利用す る装置をクレーンに導入し、省エネの評価をおこ なうこととした。

本報告では、泥水シールド工事の立坑上の門型 クレーン (12t) の巻上げモーターに回生システム を装着した。この工種でのクレーン作業は揚土が 無いため巻下げ作業が主となり、図-5 のように回 生による発電が大きいことが予想される。よって、 電力回生による省エネ率が3割程度といわれてい る通常のクレーン (例:図-6) よりも大きい省エ ネ効果が期待できる。

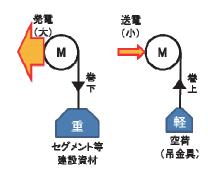


図-5 泥水シールドにおけるクレーン作業

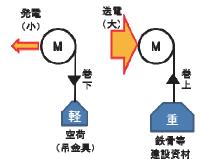


図-5 ビル建築工事おけるクレーン作業

結果として5割近い省エネ率が確認できた。このことにより電力回生システムは立坑の深さにもよるが泥水シールド工事のクレーン適するシステムであることが確認された。

#### 3.3 無効電力の削減

無効電力には「遅れ」と「進み」の2種があるが、建設現場は誘導負荷が多いため、遅れ無効電力が多大となる。

現状では電力会社の方針により、「遅れ」にのみ その量に応じて料金負担が課せられるため、多く の建設現場では受電設備に強制的に遅れを相殺す る進相コンデンサーを設備している。そのコンデ ンサー容量は、「遅れる」ことが無いように最大電 力使用時の値に設定されることが多く、休憩時、 夜間などで使用電力が少ない場合は、副作用とし て力率が非常に「進む」状態となる。この場合に は料金負担は無いが、多大な無効電力を発生して いる状況には変わりない。

無効電力自体は、電力会社の配電線へ戻るため 基本的には無駄とはならないが、必要量より過大 な電流が配電路を無駄に往復するため、送電損失 は発生する。その際損失する電力は使用量の数パ ーセントに達する場合もある。

本取組みでは、「遅れ」量に応じて自動的に力率を調整する装置「自動力率調整装置」を導入した。

結果としては、進相コンデンサーのみを設置した他の作業所実績に比して、有効受電力量比で30%ほどの削減が出来た。この数値をエネルギー削減率に変換するとわずか1%程度にしかならないが、受電電力量が大きい作業所ではCO2削減量としては少なくない数値となる。

# 3.4 省エネ型照明器具の採用

坑内の仮設照明に蛍光灯型 LED 照明を採用した。これは非常に普及した技術であるため、細かい説明は省略するが、蛍光灯に比して実績値で 50%の削減結果となった。

# 3.5 負荷の非効率な運転状態の是正

個別の負荷の状況が「見える化」することにより,非効率な運転状況にある負荷の抽出が容易である。

今回のシールド工事においては、シールドマシン関連の消費電力が全体に占める割合は約 50% であることが判明した。この部分の削減は工事進捗に関わるため、その他の負荷のうちから使用電力量の多い負荷を抽出し、データより稼働状況を確認した。

その結果から、不必要性に連続運転を続ける負荷を抽出し、必要に応じた間欠運転に変更することで負荷ごとに10%以上の電力量削減となった。

この削減率は、投資コストが余り必要ない割には大きく、「見える化」による大きな効果のひとつといえる。

#### 3.6 掘削汚泥の減容化

シールド工事で発生する掘削汚泥の減容化により、搬出車両の削減をおこなった。減容化には高圧薄層フィルタープレスを導入した。これにより搬出汚泥の量を 7%削減することができ、搬出車両にして約 2100 台が出す CO<sub>2</sub> が削減できた。

## 3.7 重機の省エネ運転

今回,重機のCO<sub>2</sub>発生量をモニタリングしたが,シールド工事では、油圧ショベルは汚泥搬出時のみの稼動で、元々から余り無駄にエネルギーを消費する運転となっていない。よって明確な省エネ運転効果は現れなかった。

#### 3.8 各取組みでの CO<sub>2</sub> 削減結果

以上の取組みにより、削減できた  $CO_2$  量を表-1 に示す。

2 1 日 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	们似里				
取組み内容	CO2削減量				
再生可能エネルギー	7. 2ton				
クレーン電力回生	0. 7ton				
省エネ照明	8. 5ton				
負荷の運転状態の是正	5. 6ton				
汚泥の減容化	66. 6ton				
合計	88. 6ton				

表-1 各取組みでの CO2 削減量

# 4. まとめ

本報告では、 $CO_2$ 発生量の抑制を仮設機械の観点から取り組み、電力で  $3\%強の削減結果を得たが、京都議定書で決められた目標値<math>\triangle 6\%$ と単純に比較するとまだ 3%不足している。

しかしモニタリング装置の導入で「見える化」 したことにより、各負荷別に分析と評価が出来、 更なる取組みの目標設定が容易となった。

製造業の工場とは違い,運用期間の短い建設工事現場では,1現場でエネルギー削減技術の投資コストが回収できない場合が多い。よって,建設工事における環境技術導入に対するインセンティブが明確になることが,今後の課題であり希望である

なお本技術は、温室効果削減ガスの削減を目的 とし開発したが、東日本大震災以降のピーク電力 削減ニーズにデマンド管理機能や負荷分析機能 が有効に役立つ結果となっている。

現在、建築工事・ダム工事・トンネル工事でも 取組みを適用中であり、本報告と同様に  $CO_2$  発生 量の削減を進めていく所存である。