

＜エネルギー管理での課題＞
エネルギー効率指標 (KPI) の設定が難しい。

対策
同等条件
比較

- エネルギー管理の対象範囲(バウンダリー)を分け、バウンダリー単位に指標を選定する。
 - 1) バウンダリーには、空間的バウンダリーと、時間的バウンダリーがあり、それらを統合する概念を時空バウンダリーと呼ぶ。
 - 2) 時空バウンダリーを含む広義のエネルギー管理単位をEMU(Energy Managed Unit)と呼ぶ。

原因

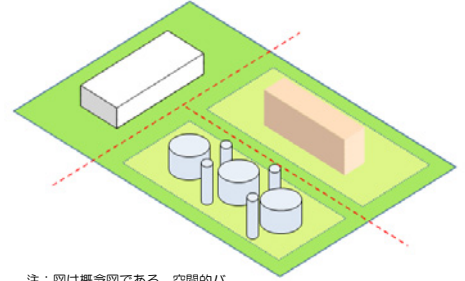
エネルギーと生産量の関係が複雑

同等の条件で比較することで、改善効果を明確に識別できる。生産工場の設備群は互いに独立に稼働する場合が多く、同じ条件での比較のためには同じ稼働パターンの設備群を集めて管理することが推奨される。

1. 空間的バウンダリー

工場に於けるエネルギー管理では、サイト全体、工場、生産ライン、エネルギー消費量の大きい設備機器など、管理の目的に応じて対象範囲を設定する。この対象範囲をエネルギー管理の空間的バウンダリーと呼び、それぞれに対して管理目標としてのKPIが設定される。工場全体のエネルギー消費量や製品のエネルギー原単位などがKPIとして一般的である。

空間的バウンダリーを細分化して、エネルギー消費の大きい設備など、SEU(Significant Energy Use)を明確にして改善ポイントを絞り込む方法が効果的である。



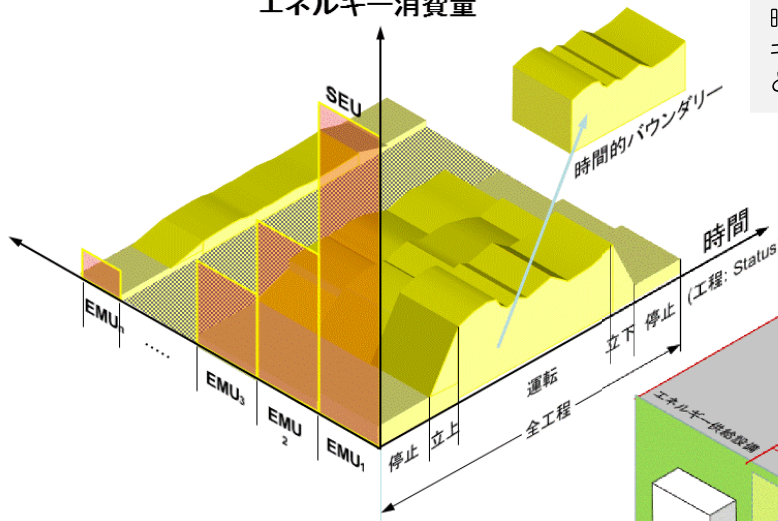
注：図は概念図である。空間的バウンダリーとしては任意の物理的な設備群の範囲や組織的な範囲を設定できる。

2. 時間的バウンダリー

2.1 工程ごとのエネルギー消費トレンド

下図は操業の全工程を時間軸上で、停止、立上げ、運転、立下げ、停止に区分して、エネルギー消費量を測定し、この総エネルギー消費量の大きいEMUの順に並べて表示したものである。各工程ごとの区分をエネルギー管理の時間的バウンダリーと呼ぶ。時間的バウンダリーはアプリケーションにより定義して運用管理される。

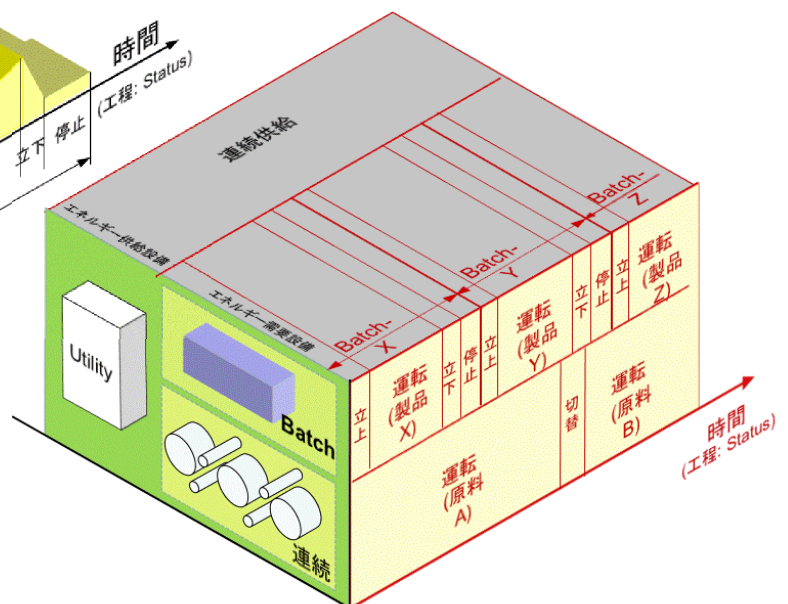
エネルギー消費量



2.2 時空バウンダリー

下図はバッチプロセス(上段)と連続プロセス(下段)の時間的バウンダリーの例を対比して示したものである。

バッチプロセスでは、1バッチ内での時間的バウンダリーが定義されている。また銘柄変更が比較的頻繁に発生する。銘柄毎のエネルギー消費特性が大きく変わる場合には、「運転」工程を銘柄で区別する。石油精製などの連続プロセスでは、同一の運転状態が比較的長時間継続するが、原料(油種)の切替え時にはエネルギー消費特性が変わる。この観点ではバッチプロセスと同等とみなせる。



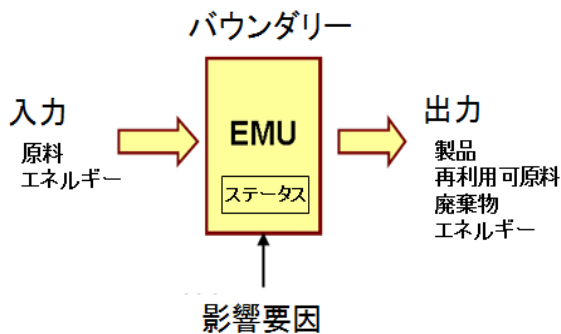
3. エネルギー管理ユニット(EMU: Energy Managed Unit)

IEC/TR 62837(Edition 1.0 2013-09)“Energy efficiency through automation systems”によると、エネルギー管理の対象範囲(バウンダリー)として、右図に示すようなEMU(Energy Managed Unit)が定義されている。

製造工程に於けるEMUでは、入力として、エネルギーと原料が、出力には最終製品、再利用可能な原料、廃棄物、排出エネルギーなどが考えられる。

“影響要因”とは、EMUの入出力特性に大きく影響を与える要因を意味しており、たとえば、外気温・気象条件、生産量、主要装置・設備の運転/停止などがあげられる。

一旦設定されたEMUに対しても、操業の状況によってエネルギー消費特性が変化し、それに対応したエネルギー管理が必要になる。これは操業状態に対応したEMUがもつ“ステータス”と考えられ、これを“EMU ステータス”と呼ぶ。エネルギー管理の時間的バウンダリーに対応している。

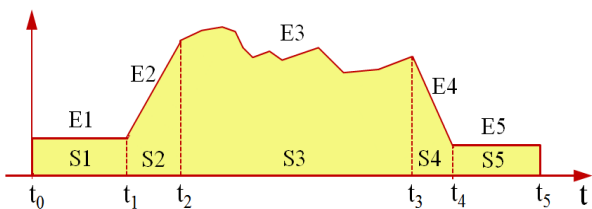


出典：IEC/TR 62837(Edition 1.0 2013-09)
“Energy efficiency through automation systems”

- 【注1】 EMUの定義
unit of asset for energy management, identified by an energy related functional partitioning
- 【注2】 出典の図に“ステータス”を追記した。

4. EMUのステータス(EMU Status)

消費エネルギー



4.1 EMUステータスと消費エネルギー

上図はEMUステータスと消費エネルギーとの関係を示したものである。S1~S5のステータスが定義されていて、それぞれのステータスでE1~E5のエネルギー消費があることを示している。

2.1で示した時間的バウンダリーにあてはめると、“ステータス”として、停止、立上、運転、立下、停止が定義される。それぞれのステータスは固有のエネルギー消費特性を有している。これらはプロセスによって異なるが、それぞれの操業状態にあわせて細分化して定義する。

工程全体のエネルギー消費の総量は、これらのEiの積分で与えられるので、エネルギー効率を高めるためには、各ステータスに於けるEiを下げることに併せて、時間軸の要素も検討することが重要である。

「立上げ」や「停止」中にもエネルギー消費を伴うが、これは生産に直接寄与しないエネルギーである。操業上の計画的な停止以外に、故障など予期しない停止もあり、エネルギーの無駄につながる。高信頼で生産性の高い生産ラインを構築し、エネルギーのムダをなくすことが重要である。

EMUに大きな影響を与える要因として運転条件があるが、製紙工場や自動車工場の場合で見ると一日の生産時間内であっても、生産の準備段階、故障発生、レシピ変更など安定生産以外のいろいろな操業ステータスがあり、そのステータスでのエネルギー消費パターンは大きく異なることが多い。しかも、それぞれのステータスが一日の生産時間に占める割合はまちまちである。操業の実態に見合ったEMUステータスを定義して管理することの重要性を示す例である。

4.2 EMUステータスとエネルギー消費特性

左図に対応したEMUステータスとそれぞれに於けるエネルギー消費特性の例を下図に示す。これにそって各ステータスごとに管理指標(KPI)が設定される。

EMUステータス	変数の数	変数1	変数2	エネルギー消費特性
		名称(単位)	名称(単位)	
S1: 停止	0	-	-	$E1 = E_0$
S2: 立上	1	T: Time (min)		$0 < T < 10$ $E2 = K1 \times T + E_0$
S3: 運転	2	Q: flow (m ³ /h)	P: pressure (Mpa)	$E3 = K_0 \times Q \times P + E_0$
S4: 立下	1	T: Time (min)		$0 < T < 5$ $E4 = K2 \times T + E2$
S5: 停止	0	-	-	$E5 = E_0$

5. 生産における設備の稼働状態 --- Time model

ISO22400 "Manufacturing operations management - Key performance indicators"では、生産に於ける設備の稼働状態を"Time model"として、下図のように定義している。

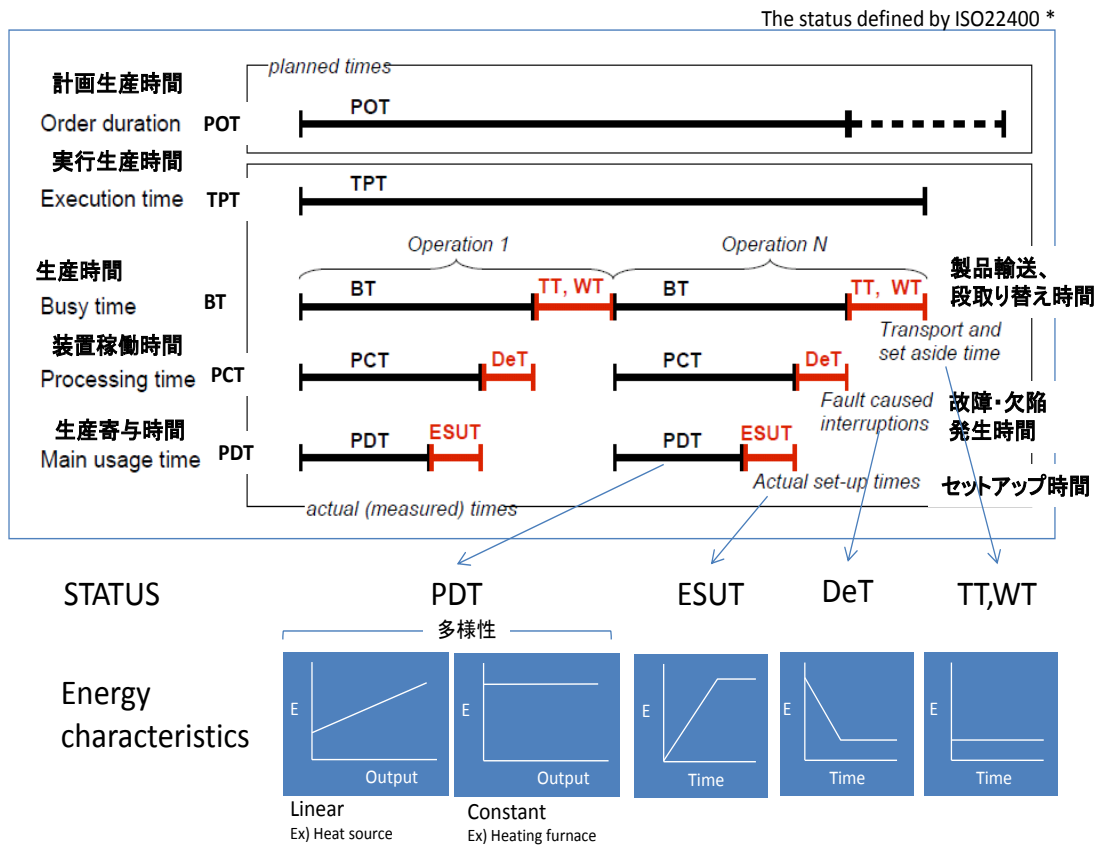
計画生産時間に占める実行生産時間を、生産時間、装置稼働時間、生産寄与時間に区分し、その中で輸送、段取り換え、故障、セットアップ時間など生産に寄与しない時間を位置づけている。

2.2に示した「時間的バウンダリー」はこの概念にもとづき、エネルギー管理上の操業上の時間的単位をバウンダリーとしてとらえたものである。

エネルギー管理のためには、下記の定義されたそれぞれの時間に対して、設備のエネルギー特性を掌握しておく必要がある。

生産寄与時間PDT、装置セットアップ時間ESUT、遅延時間DeT、搬送時間TT、機時間WTに於けるエネルギー特性を下図に示す。

ステータスはエネルギー消費特性が大きく変わる場合に区分すればよく、「生産寄与時間」と「非生産時間」の二種類でも実用性は高い。



【定義】

- 計画生産時間POT(Production order time/ order duration) : あらかじめ生産計画で設定する生産時間
- 実行生産時間TPT(Throughput time/ Execution time) : 生産開始から終了までの生産活動を行っている時間。
- 生産時間BT(Busy time) : 1回(ロット)の生産運転に費やされた時間
- 装置稼働時間PCT(Process time) : アウトプットにかかわらず生産に使用する装置の稼働時間
- 生産寄与時間PDT(Production time/ Main usage time) : 製品となるアウトプットを生産した時間
- 装置セットアップ時間ESUT(Effective setup time) : 生産のために装置をセットアップする時間
- 搬送時間TT(Transportation time) : 装置間の搬送あるいは倉庫からの搬送時間
- 待機時間WT(Wait time/set aside time) : 脇置き時間、次工程搬送待ち時間
- 遅延時間DeT(Delay time) : 故障、欠陥により装置を止めた時間

【相互関係】

- 実行生産時間TPT = Σ (生産時間BT+搬送時間TT+待機時間WT)
- 生産時間BT = 装置稼働時間PCT+遅延時間DeT

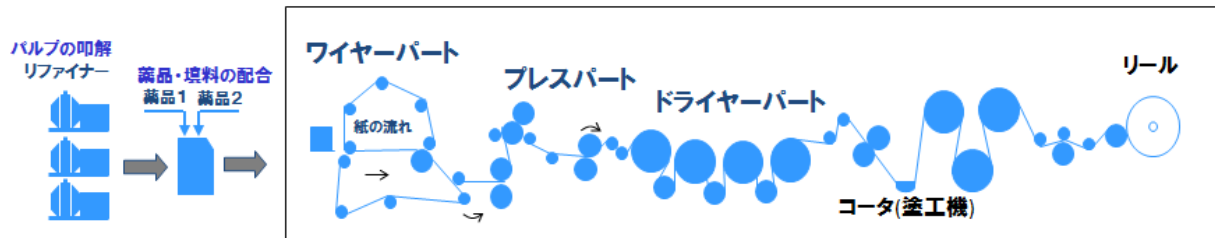
ISO22400は、産業における各種のKPIを定めた規格である。ステータスの概念はIEC/TR 62837 第6.4.3章に示されている。

製紙工場の抄紙・塗工工程に使われる抄紙機のステータスには次の5種類がある。これらは抄紙機運転時の信号1～6をもとに下表のロジックによって生成される。

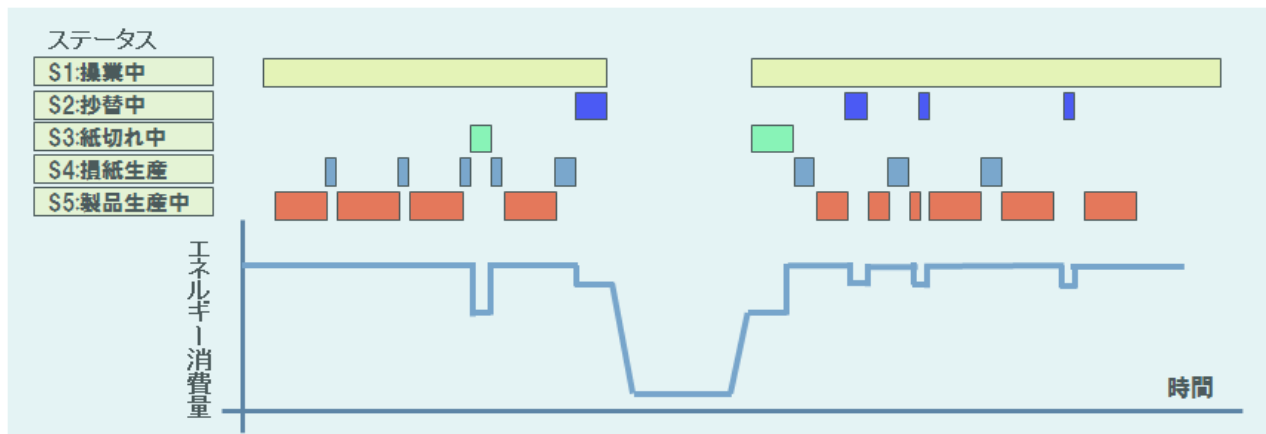
- 操業中 : 抄紙機に動力が供給され運転稼働中
- 抄替え中 : ロット変更中の中間製品(規格外品)を生産している状態
- 紙切れ中 : トラブル等により紙切れが発生し、抄紙機は運転稼働しているが紙を生産していない状態
- 損紙生産中 : 規格内の紙を生産しているが次工程への作業手順上で廃棄される部分を生産している状態
- 製品生産中 : 製品として次工程に送る紙を生産している状態



最下部の図に、実操業時のステータス遷移に対応したエネルギー消費量を示す。例えば紙切中はエネルギー消費量自体は減少するが、生産に寄与しないエネルギー消費であり、ステータス毎の管理が必要となる事例である。省エネ対策の効果の評価するには、同一の操業状態(ステータス遷移)に対して比較することが必要である。



信号名	1:抄紙機稼働中	2:試運転中	3:紙切中	4:製品カウント中	5:銘柄変更中	6:塗工中
ステータス	パルプ原料輸送ポンプ稼働中	オペレータ指令信号	各パート間の紙切れ検出信号(紙切中ON)	製品生産長積算カウンター稼働中	自動銘柄変更指令(銘柄変更中指令ON)	塗工装置着脱指令(塗工装置着て信号ON)
S1: 操業中	Yes	No				
S2: 抄替え中	Yes	No			Yes	
S3: 紙切中	Yes	No	Yes		No	
S4: 損紙生産中	Yes	No	No	No	No	
S5: 製品生産中	Yes	No	No	Yes	No	Yes



JEITA制御・エネルギー管理専門委員会WG1(省エネルギー)

松井哲郎(主査:富士電機)、大内俊之(副主査:横河電機)、植木和夫(アズビル)、鈴木康央(アズビル)、藤田賢一(荏原電産)、黒谷憲一(富士電機)、松本宏治(富士電機)、鈴木健司(三菱電機)、井上賢一(横河電機)、若狭裕(横河電機)