

状態監視の強化により
生産効率と環境効率の両立を目指す
(LCA対応を目的としてDXを推進)

回転機械、生産ライン、及び、プラント装置

株式会社エクストラネット・システムズ
<http://www.extranet.jp/>

目 次

✓ Goal と 基本的アプローチについて

I . 新たな状態監視技術 : 相関抽出法

- ・脳内モデルを具現化
- ・異常の検出感度
- ・要因の自動推定

II . 回転機械の劣化診断 & 自動監視システム

- ・プロアクティブ保全
- ・適用実績 (技術・経済的)

III . 生産ラインにおける不良検知

- ・受託開発例

IV . プラント装置/ライフサイクル付加価値の最大化

- ・某燃料化プラントへの適用例

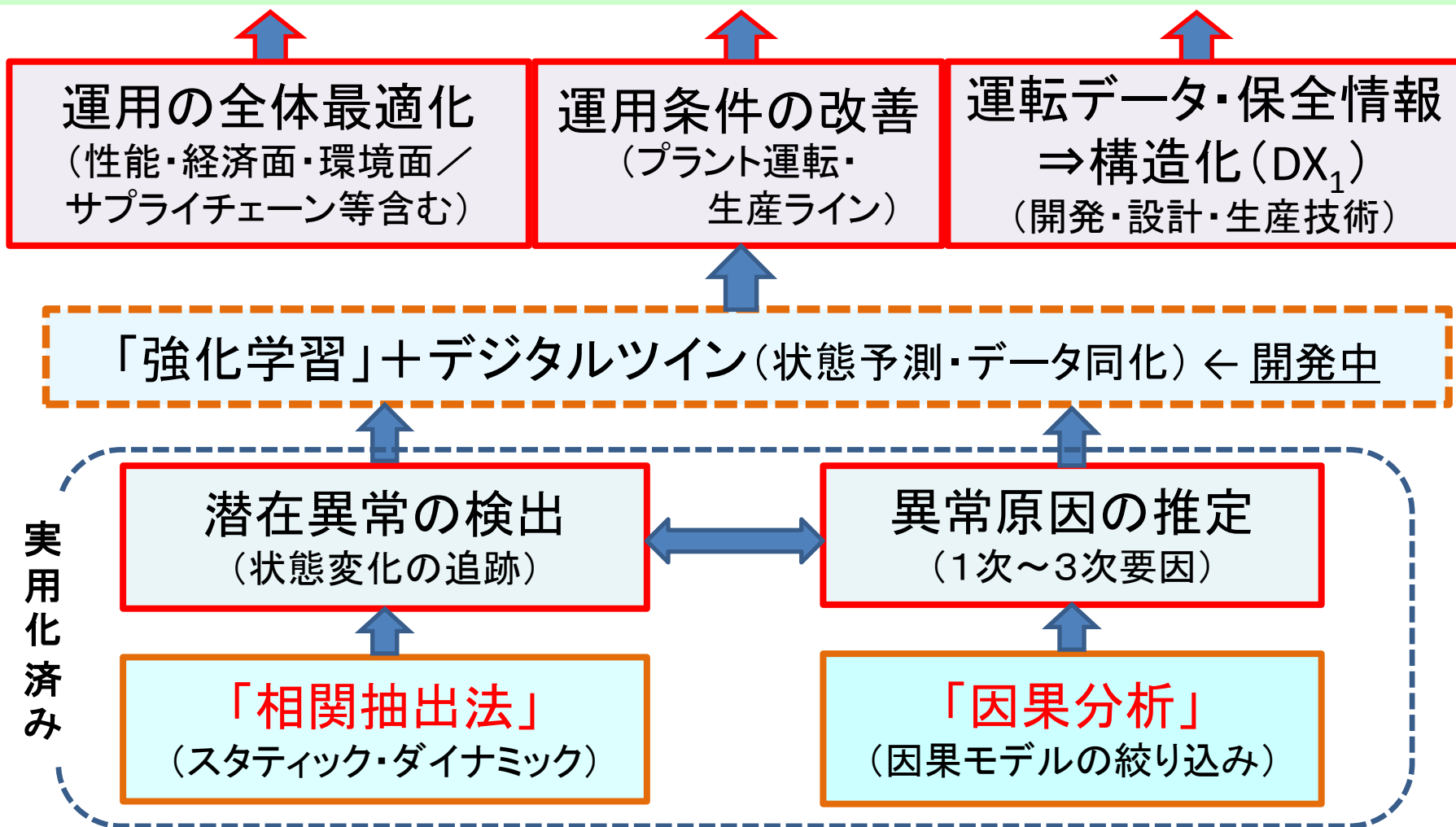
補足 : マハラノビスタグチ法 (MT法) との比較

会社紹介

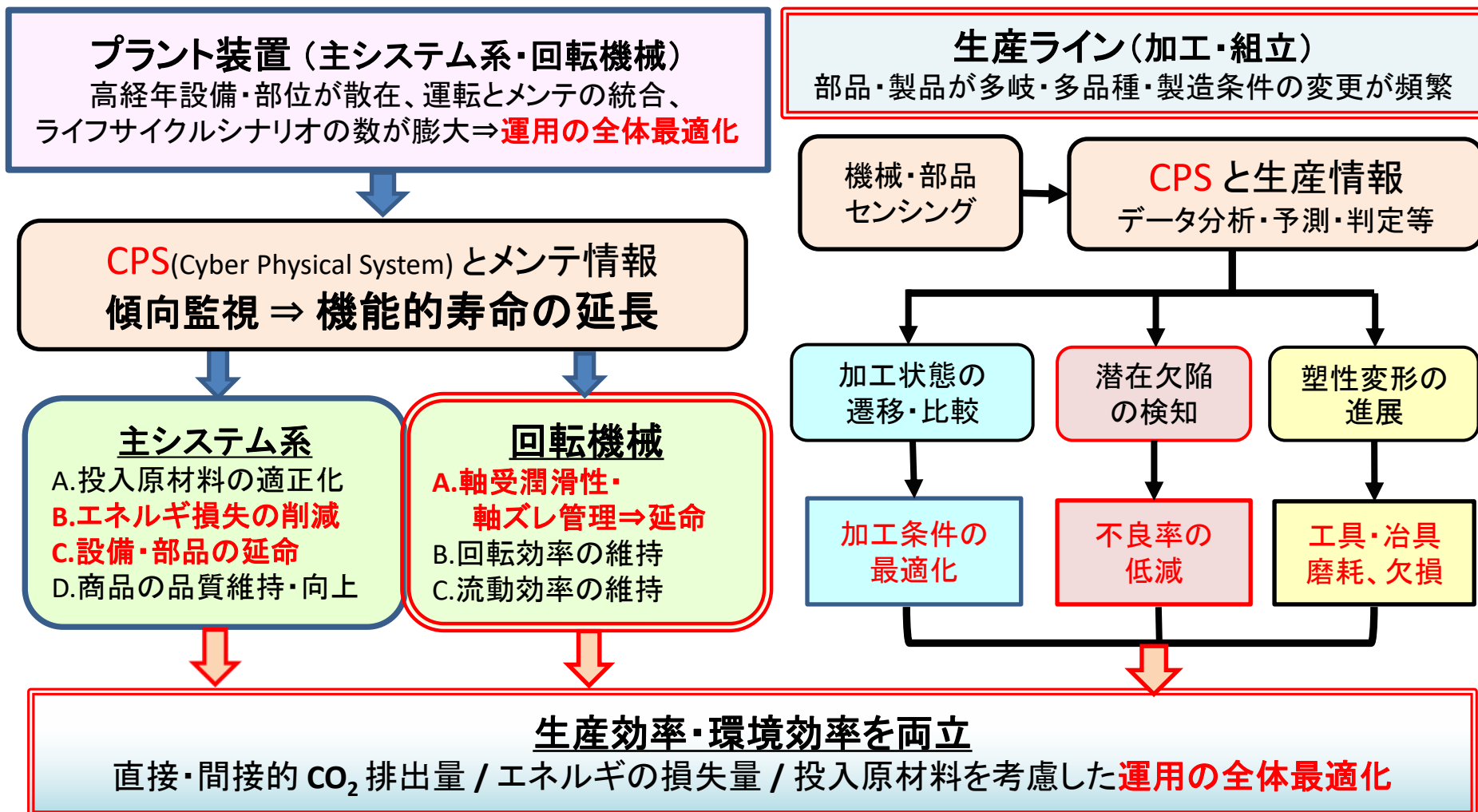
- ・名称 株式会社エクストラネット・システムズ
- ・所在地 広島市
- ・設立 2005年10月(今期第18期)
- ・資本金 1,750万円
- ・主な事業
 - (1) 回転機械の劣化診断サービス
 - (2) 異常判定用アプリケーションの販売
 - (3) 同上、適用に関するコンサルティング
 - (4) 生産ラインでの不良検知機能の受託開発
 - (5) プラント監視機能の共同開発
 - (6) 特許・診断ノウハウに関するライセンス供与
- ・受賞
 - ① 2014年度TPM優秀商品賞(開発賞)
 - ② 令和元年度第45回発明大賞(会長賞)



Goal: ライフサイクルにおける低炭素型生産システムの構築支援

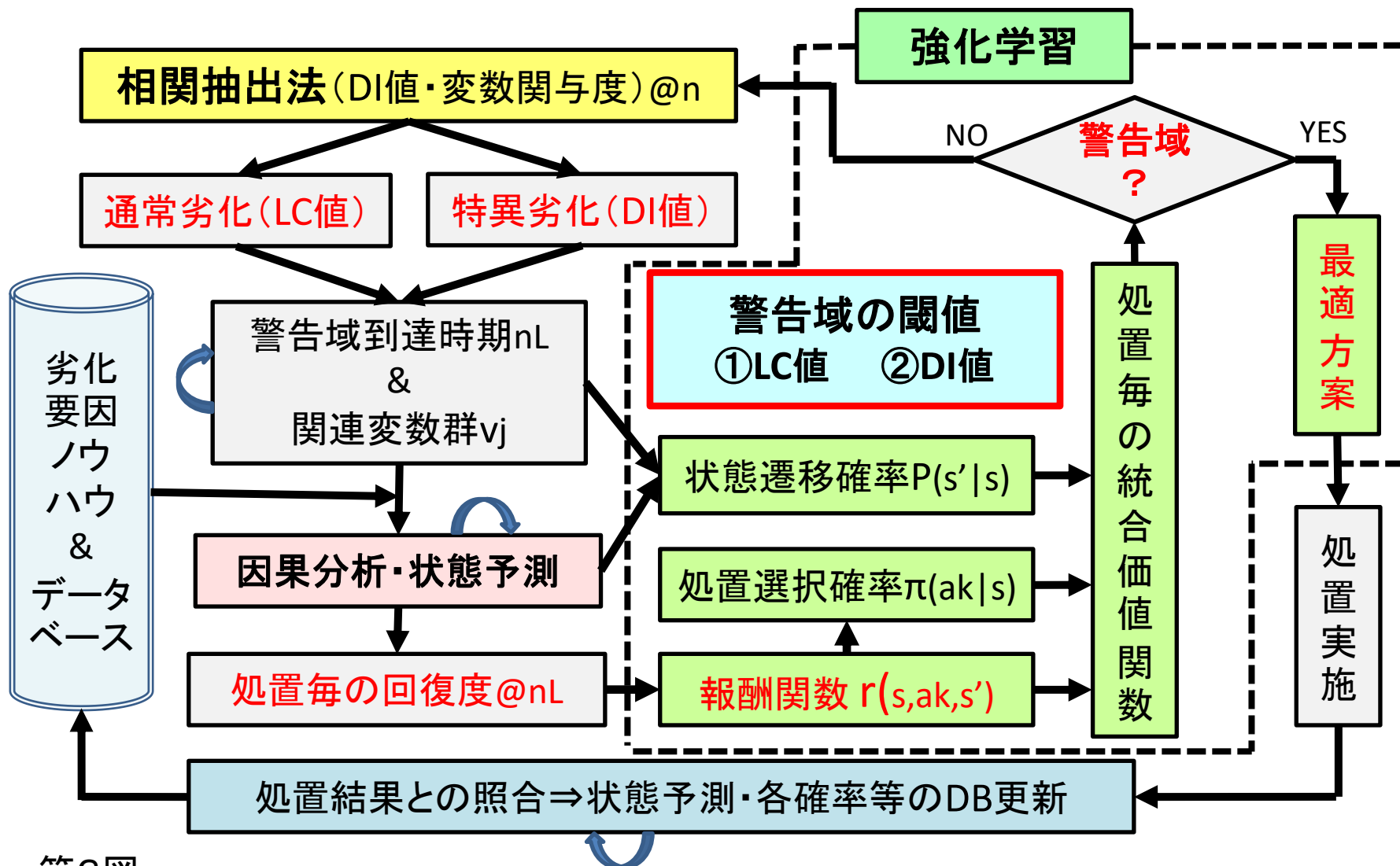


ライフサイクルにおける低炭素型生産システムの構築支援 (LCA対応を目的としたDXの具体化策のご提供)



第2図

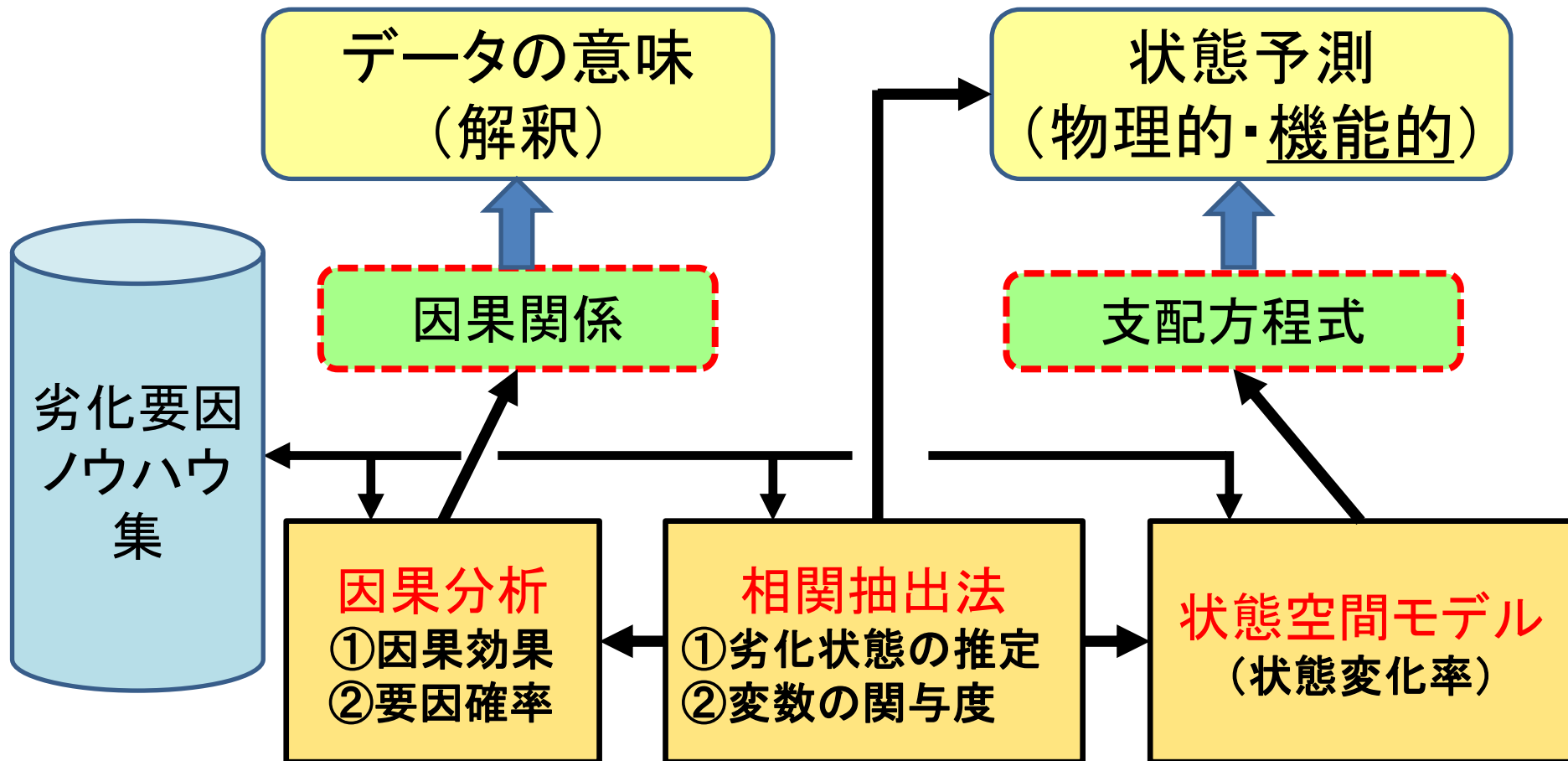
プラントのライフサイクル(LC)での付加価値を最適化へ



第3図

データから有用な情報を得る基本的アプローチ

状態監視機能： 異常判定と要因推定と、を同時に



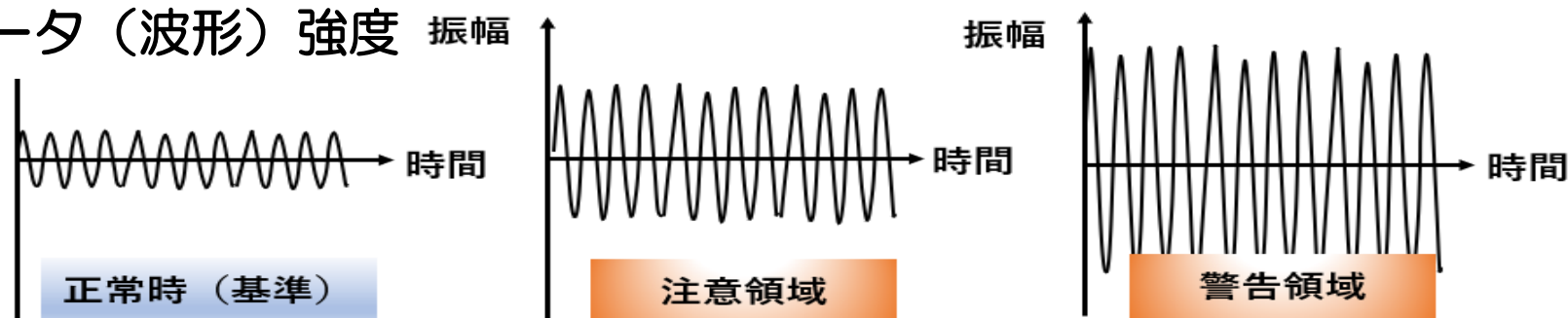
第4図

I. 新たな状態監視技術; 相関抽出法

従来技術の課題: データの強度を判定指標 & 因果分析が非現実的

- 1) 潜在異常や欠陥の検出感度(熟練者の気づきを超えられない)
- 2) プロアクティブ保全(原因除去型)
- 3) 要因推定(因果モデルの絞り込み)

1. データ (波形) 強度



第5図

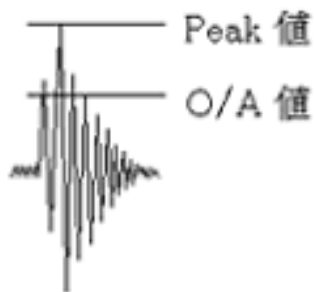
初期値

初期値の1.4~3.0倍以上

初期値の4.0~6倍以上

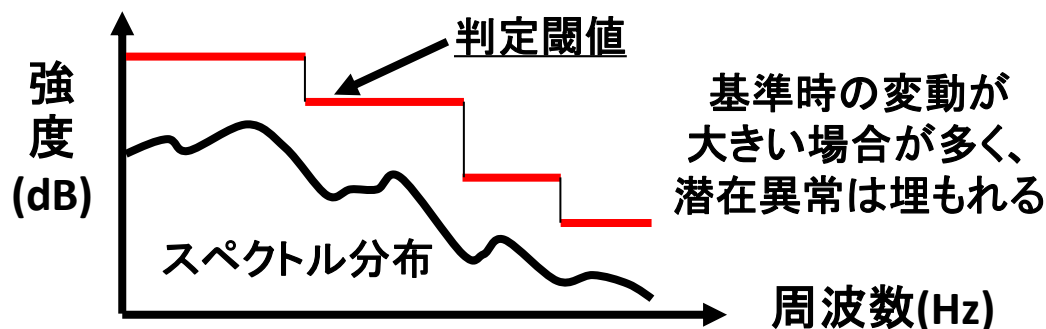
2. 特徴パラメータ

- (a) O/A (実効値など)
- (b) ピーク値
- (c) 歪度
- (d) 尖度



第6図

3. スペクトル分布の強度



第7図

I. 新たな状態監視技術; 相関抽出法

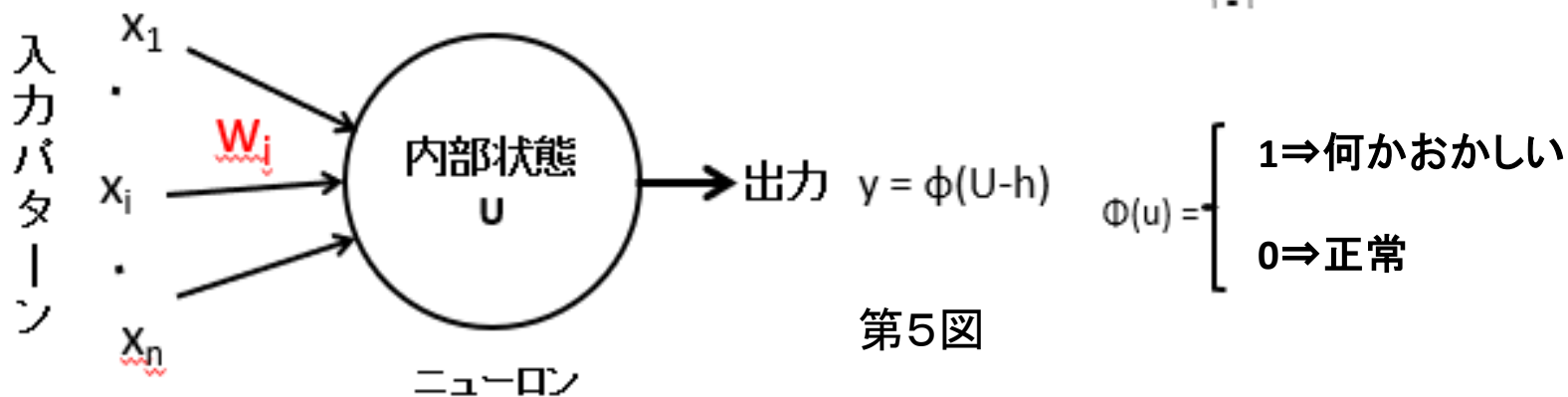
脳内での学習モデルを“相関抽出法”にて具現化

脳内での学習モデル: 教師なし学習

入力パターンの“相関”はシナプス重み W_i に記憶される

W_i : シナプス重み

内部状態 u = 入力値の重み付総和 $\sum_{i=1}^n W_i * x_i$

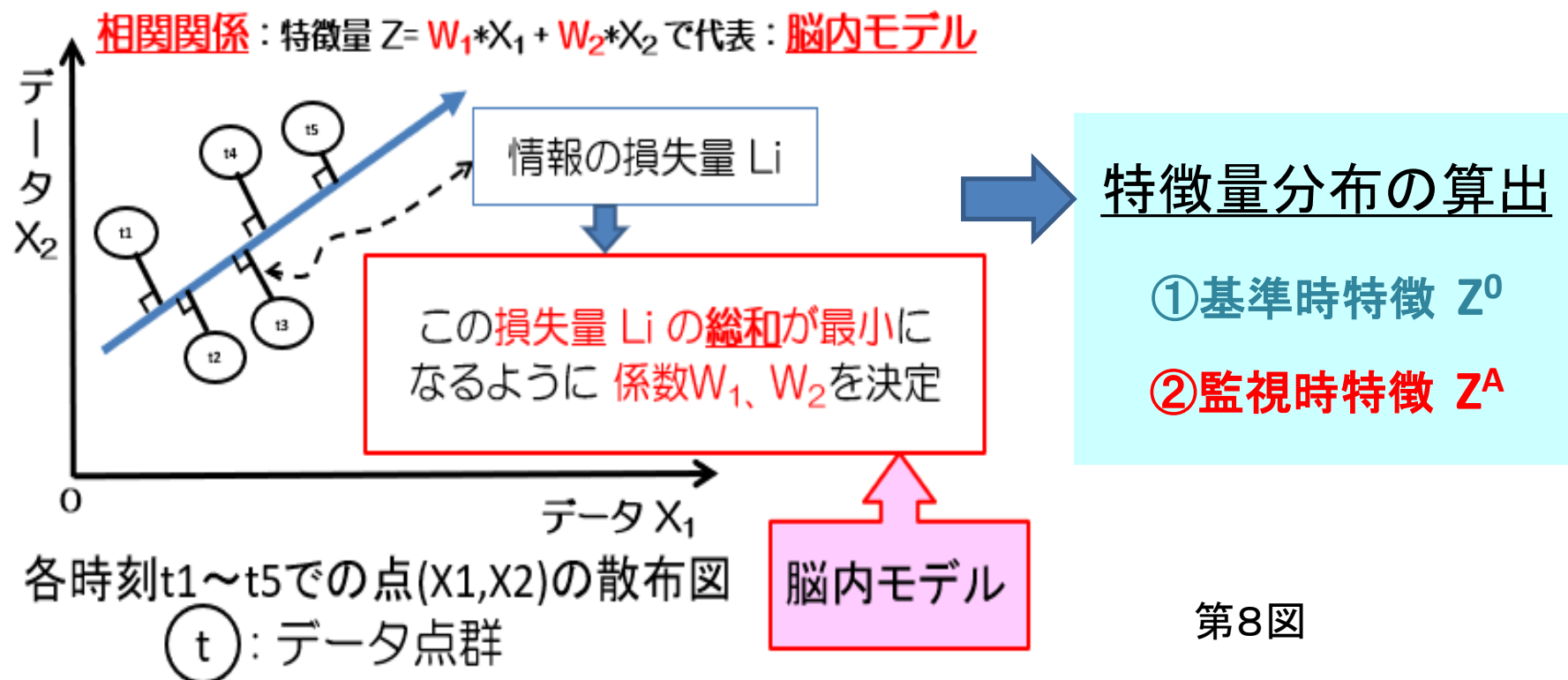


「いつもと違う」: 高い検出感度と、安定した判断

I. 新たな状態監視技術; 相関抽出法

基準データの“相関”⇒ **特徴係数** ⇒ 基準時・監視時の特徴量に共用

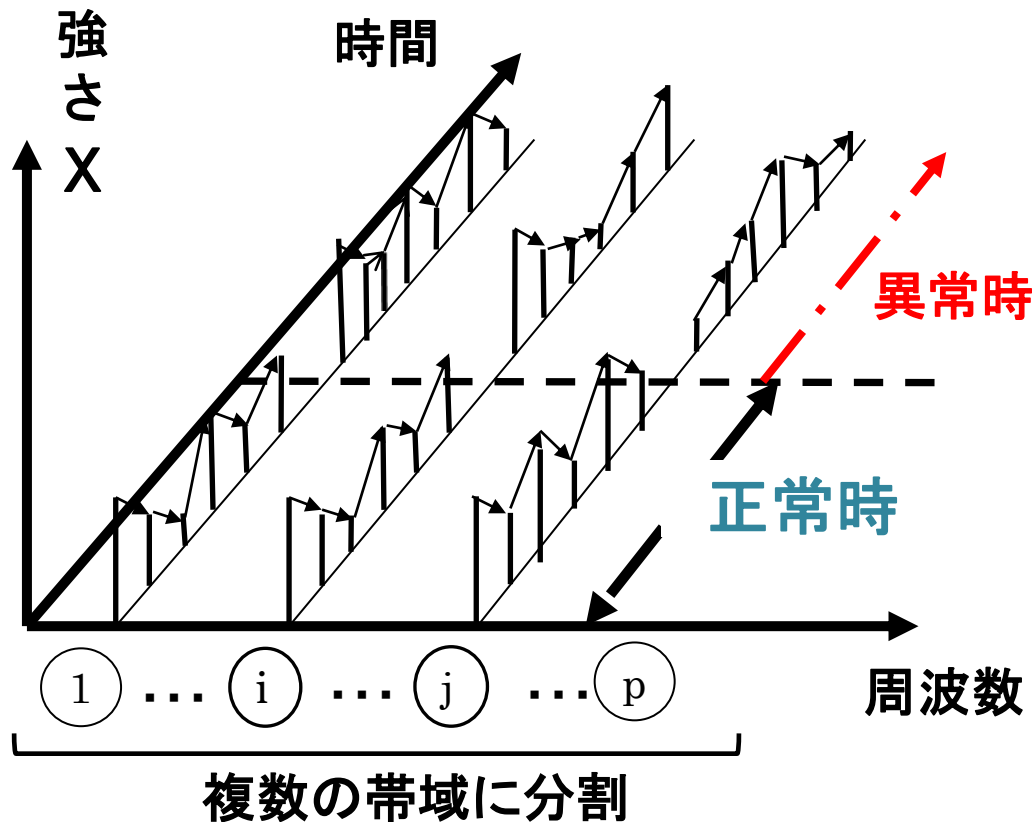
脳内学習モデルと特徴係数 W_1 、 W_2 算出の関係



第8図

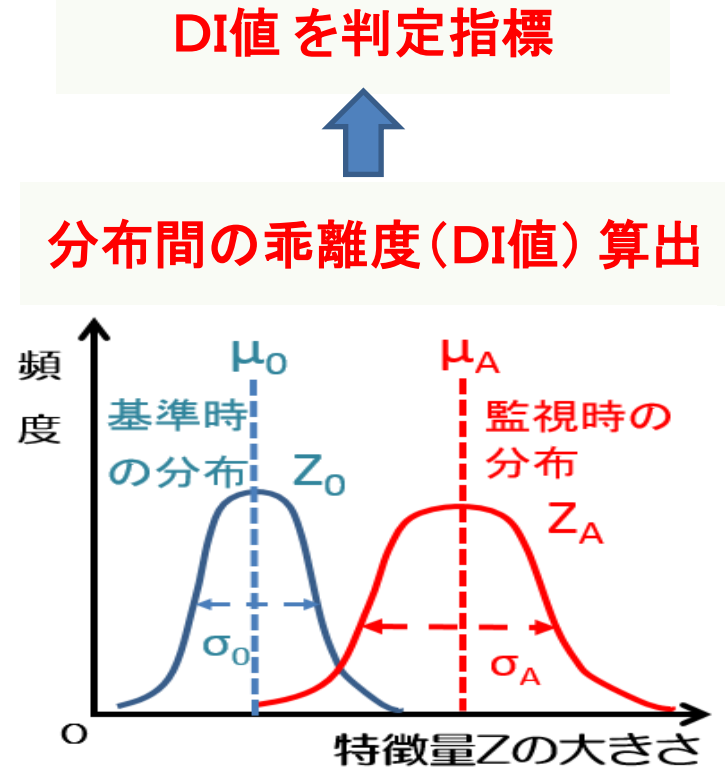
I. 新たな状態監視技術; 相関抽出法

時間波形への適用



第9図

正常時のデータから、
各帯域の強さに関する**特徴係数 W** を決定



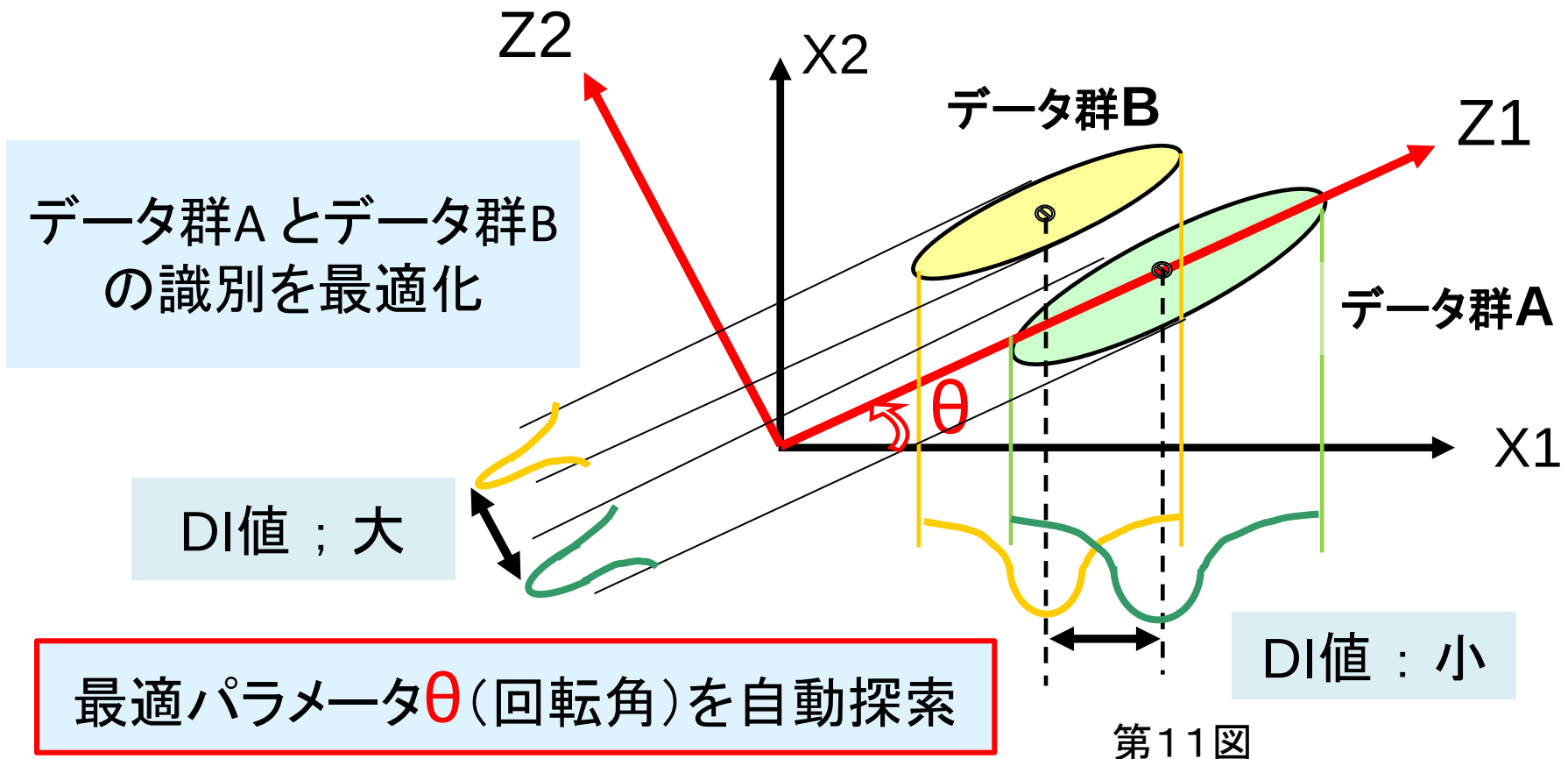
第10図

特徴量 $Z=W \cdot X$ を算出

I. 新たな状態監視技術; 相関抽出法

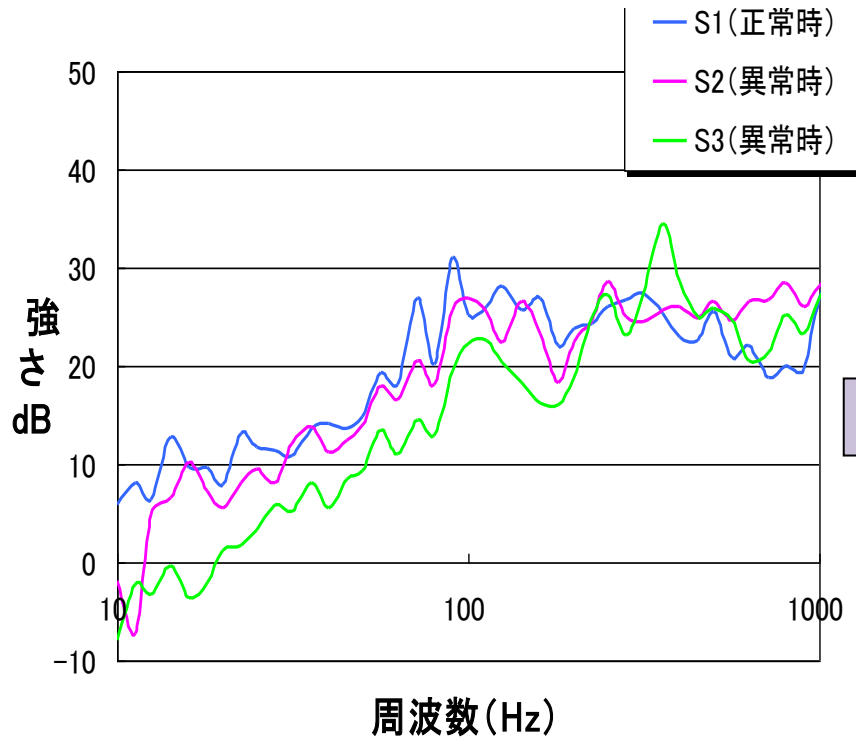
パラメータ自動探索型相関抽出法

基準状態の学習結果から、2つのデータ群が最もよく離れる回転角度 θ を探索



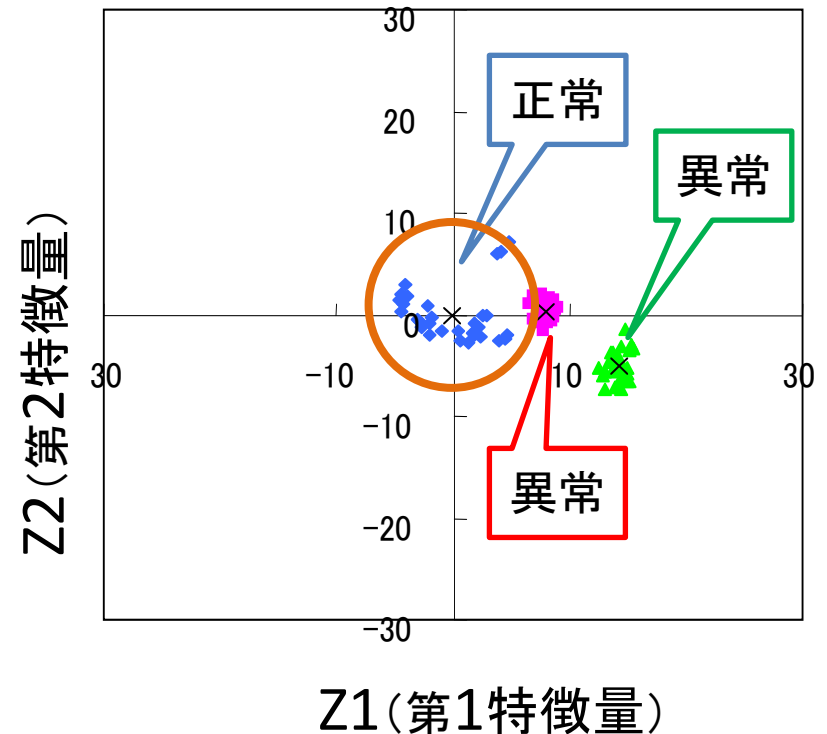
相関抽出法の有効性事例その1（初期異常の検出）

●転がり軸受の軌道面肌荒れ（微小傷）の検出事例



× 周波数解析では異常判定は困難

第12図



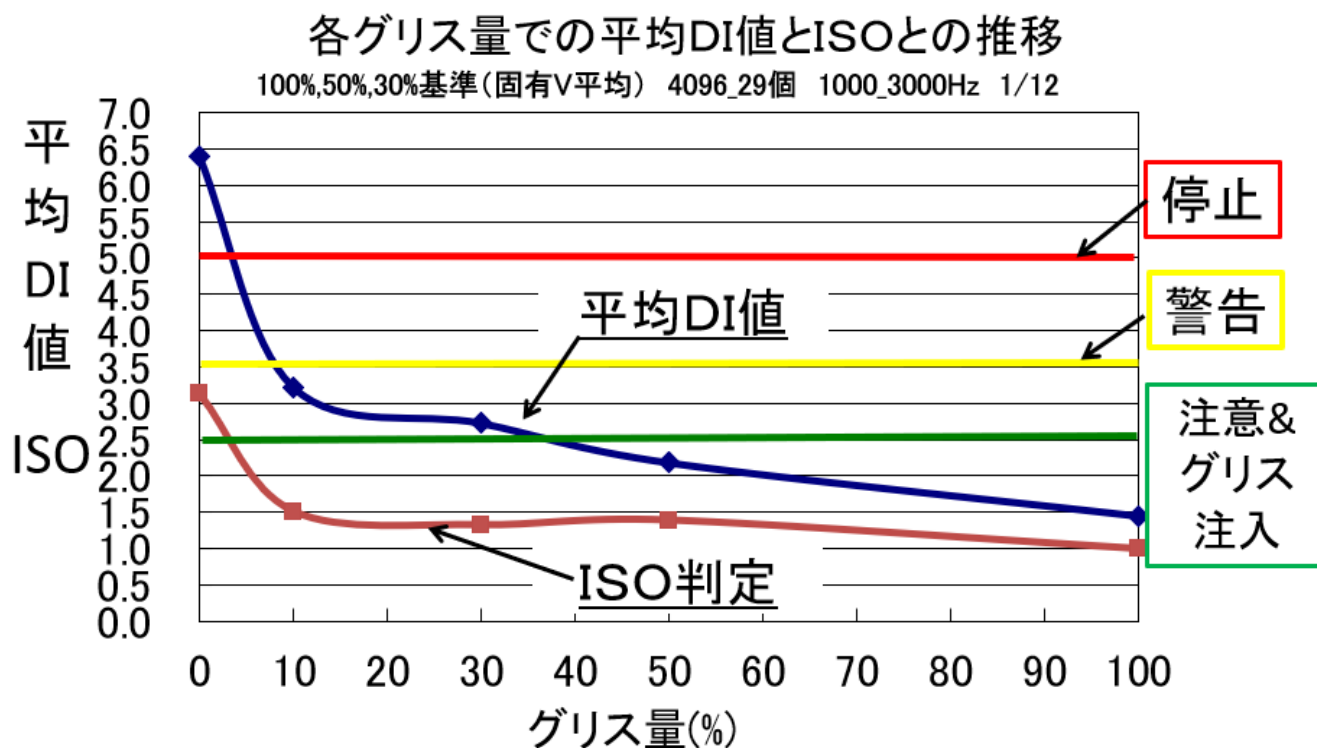
○ 相関抽出法によって検知可能

第13図

相関抽出法の有効性事例 その2(グリス量低下)

●軸受の潤滑維持管理⇒延命効果(プロアクティブ保全(原因除去型))

✓グリス量の減少 ⇒ 従来、振動では検知不能



第14図

2014年度TPM優秀商品賞(開発賞)受賞

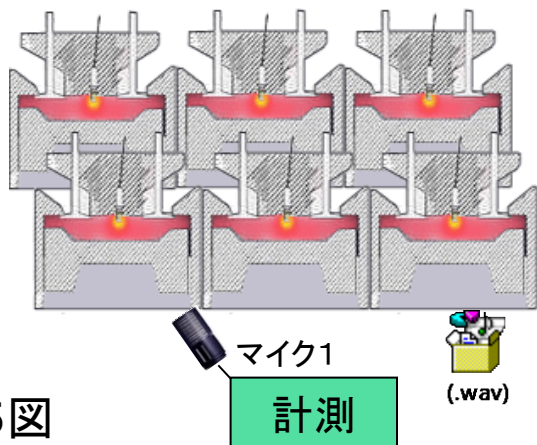
相関抽出法の有効性事例 その3

ガスのエンジンの失火検知(音響)

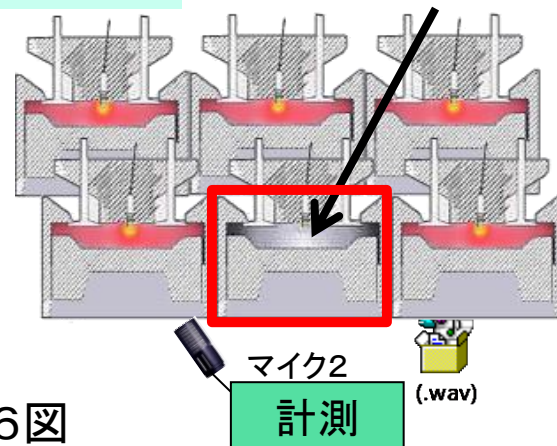
全て**正常**状態

6気筒のガスエンジン

1気筒が**失火**状態

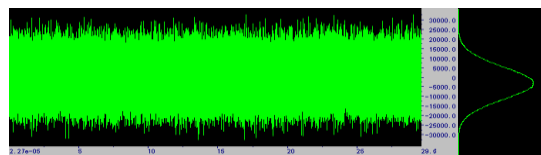


第15図

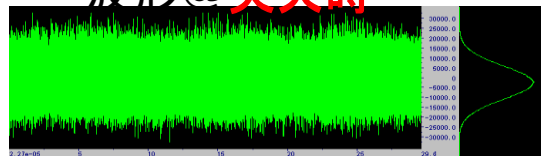


第16図

波形@正常時



波形@**失火**時

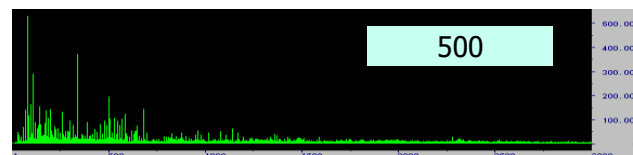


正常時

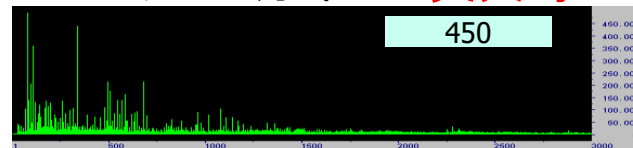


失火時

スペクトル分布 @正常時



スペクトル分布 @**失火**時

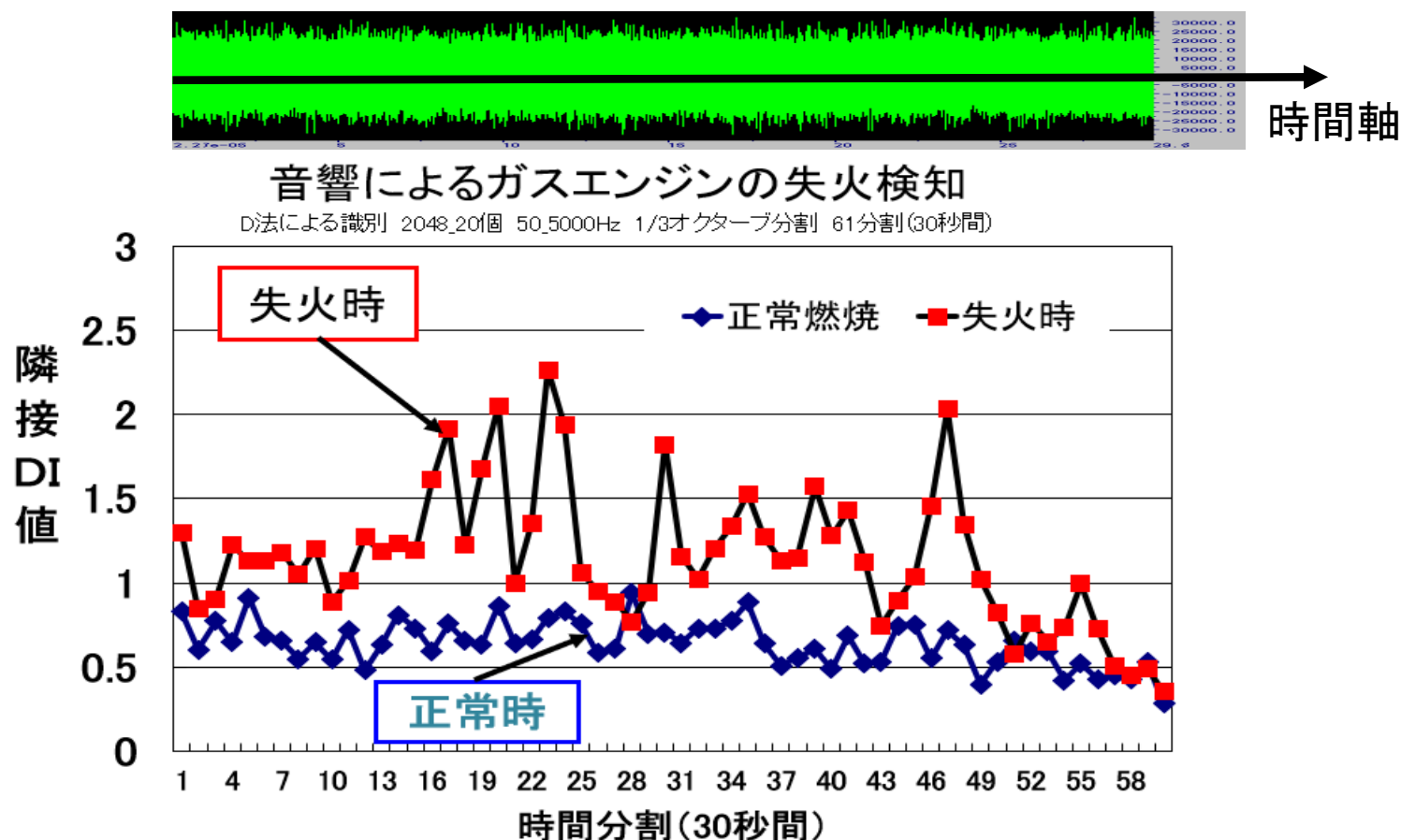


✓ 波形やスペクトル分布の差が小さく、識別は困難

相関抽出法によるガスエンジン失火現象の検知(音響)

相関抽出法にて失火現象を音響にて識別可能

⇒ 熟練者を超える検知機能を検証



第17図

I. 回転機械の劣化要因の自動推定(BDI)アプリを開発

某プラント / 排気ファンでの比較検証

(1) 専門家(ノウハウ)による要因判定結果 ⇒

a. ミスアライメントの恐れ

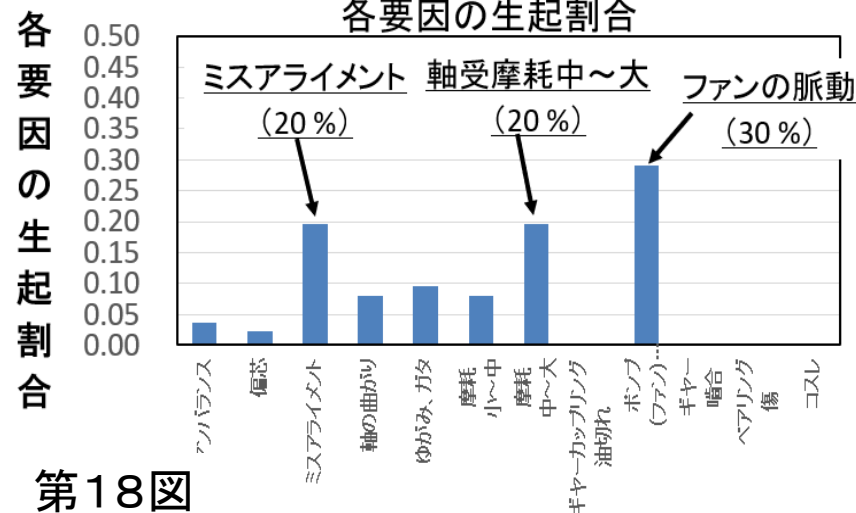
b. インペラもしくは主軸の偏摩耗 ⇒ 圧力脈動

(2) 専門家C・回転特性B・BDIアプリAの比較

	C		B		A
a.	59	fr	59		51~52
a.	119	2fr	119		960~974
b.	952	fb	952		1919~1947
b.	1,904	2fb	1,904		2,004~2,123
	2,856	3fb	2,856		2,876~2,917

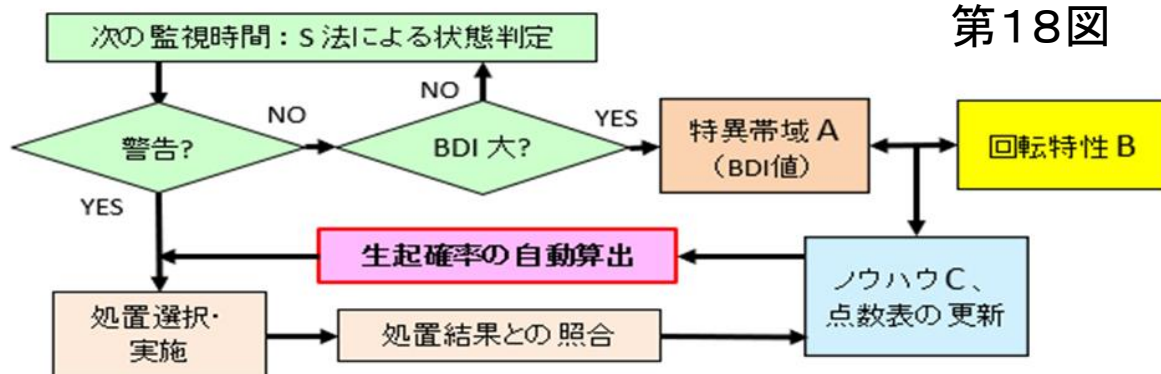
b. 変形波のモード2→4の場合

排気ファン: BDIアプリと要因ノウハウ集を用いた
各要因の生起割合



BDIアプリを適用した要因ノウハウの更新

第18図



異常状態の追跡とともに、
劣化要因も自動出力

プロアクティブ保全と他の方式との比較

NO	保全方式	主要な技術	医療との比較
①	<u>プロアクティブ保全</u>	故障の原因系の監視と修正 (潤滑不良やミスアライメント)	血圧やコレステロールを監視し、適切なダイエットを行うこと。
2	予知保全	振動・温度・油中金属摩耗粉・アライメントの監視	心電図や超音波診断装置により心臓の欠陥を診断する。
3	予防保全(TBM)	定期的なオーバーホール および部品交換	バイパス手術または臓器移植を行う。
4	事後保全(BDM)	故障が発生した後の処置 (大きな生産損失と保全予算)	心臓発作が起こってから病院に駆け込む。

回転機械/プロアクティブ保全を振動データで実現

状態基準の保全: CBM(Condition Based Maintenance)

プロアクティブ保全
(原因除去型)

潤滑不良・軸ズレの監視

故障のない設備の延命

予知保全

劣化・異常の監視

障害・故障の早期検出

出典: NORIA Publishing; Machinery Lubrication 2006年

Ⅱ． 回転機械の劣化診断サービス

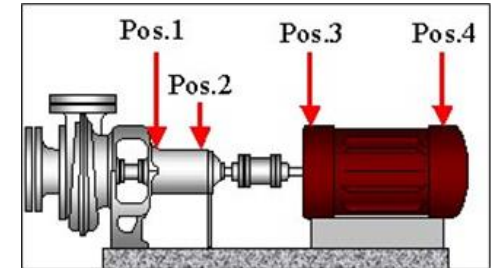
軸受の物理的寿命は、潤滑と軸ズレに大きく左右される

導入効果・ニーズが大きい対象事項

1. 不要なオーバーメンテを削減したい
 - ①生産停止、分解、復旧、試運転要・・・メンテの間隔・対象範囲
2. 軸受の交換周期を延長したい(延命)
 - ①回転中の軸ズレ量を推定 ⇒ 最適な補修時期を知る
 - ②グリス量低下を検出し、最適な充填時期を出力
3. 突発的な故障を無くしたい(従来技術では困難)
 - ①低速回転機器(300rpm)を的確に診断する
 - ②運転時の振動が大きく異常検出が手遅れに
4. 主軸の微小な回転むらが問題に
 - ①製品の厚み不均一などの品質低下

回転機械への導入事例

劣化診断サービス(振動)



1. 適用機種:

汎用回転機(ポンプ、モータ、減速機、エンジン、ブロワ等)・
工作機械・加工機械・搬送機械・風力発電機・ロールマシン等

2. 劣化事象: 摩耗、潤滑不良、軸ズレ、回転アンバランス、ガタ ゆるみ、軸受異常、メカニカルシール漏れ、等

3. 提供: 劣化/異常の程度、劣化要因の推定、機器の延命策、 物理的・機能的寿命の予測

4. その他:

- ①電気設備での部分放電検知(音響もしくは振動)
- ②スクリーン摩耗の検知(振動)

劣化診断サービスの技術優位性

1,450台@2021.12

(朱 記項目 ; 従来では診断困難)

業 界	対 象 機 器	台 数	主 な 有 効 性
石油化学	・ 高 圧 ポンプ、ドライヤ コンプレッサー、ローラ	5	○ 超低速回転機器／軸受傷を検知 ○ メカニカルシール部／ガスリーク検出 など
石油精製	・ エキスパンダータービン コンプレッサー	4	・ タービン内流動異常を検知 ○ モータ異常 (固定子) を検知
鉄 鋼	・ 圧 延 機 (熱 間・冷間)、 油圧ポンプ、	4	・ ローラ軸受傷検知および進展追跡 ・ 最適な軸受交換時期を検証 など
ガス製造	・ ガスエンジン発電機 コンプレッサー、	3	● ガスエンジンの失火検知
電 力	・ ミル減速機、ブロワー、ローラ 循環ポンプ、コンプレッサー、 ・ 風力発電系	238	● 石炭粉碎ミルの大きな振動下にて傘歯車の劣化検知 ○ ブロワー／空気流動異常を検知 ● 低速/回転変動/OH時期の妥当性検証
機械メーカ	・ 駆 動 台 車、ポンプ、エンジン 製粉プラント (6 種)、シリンダ	959	・ 軸受転動体の腐食による肌荒れ検知 ・ ベルト駆動／軸ブレの異常検知、 ● グリス量低下量の追跡機能を検証
自治体 農水省 国交省	・ 排 水／揚 水 ポンプ、 ・ 汚水処理ブロワー、 ・ 船 舶 用 大 型 エンジン	237	・ 縦軸ポンプ／吸込部ベルマウス欠損を検出 ● 排水ポンプの軸ズレ量推定／補修時期検証 ● エンジン不調による重油消費量の増分を推定

回転機械の劣化診断における有効性（補足説明）

- 表中の「主な有効性」の欄に朱記した項目は、従来では異常検出による物理的・機能的効果が不十分／困難、もしくは延命などの経済的な効果が発揮できなかったものである。

- ①低速回転機器（300rpm以下の回転速度）
- ②モータ内部の要因分析（振動解析による）
- ③エンジンなど爆発などによる外乱が大きい機器
- ④グリス量の減少
- ⑤運転中における主軸の軸ズレ量の推定

- ①は診断困難なために突然の破損事故が発生
④、⑤は軸受寿命を延命するために必須であるもの。

劣化診断サービスの経済的効果の事例

(従来技術では、経済効果は不明、もしくは曖昧)

NO	項 目	効果の実績			備 考
		対象機器	台 数	効 果	
1	保全間隔の 増大	横型ポンプ (ディーゼル エンジン駆動)	36台	オーバーホール費用低減 約1.5百万円/(年間・台)	排水機場 (農水省)
2	更新時期の 最適化	横型ポンプ (電動機駆動)	2台	更新費の低減 8.8百万円/(年間・台)	農業用水 (某所)
3	軸受/ 潤滑不良の検知	縦軸ポンプ (タービン駆動)	2台	軸受延命による低減 2百万円/(年間・台)	オイル排出 ポンプ
4	製品検査の 実用化	ベルト駆動 回転機械	800 台/年	部品・組立不良製品 の出荷回避	機械製作 メーカ
5	損傷の早期発見	縦軸ポンプ (ディーゼル エンジン駆動)	1台	吸込み部欠損の検出 (流動異常)	排水機場 (国交省)

劣化診断による経済的効果の実績についての補足説明

- ・従来、潜在異常の検出感度が低く、原因除去型の保全には至らなかった。
- ・また、劣化要因の推定は、熟練者による経験に基づくことが多く、客観的な蓄積ができず、後継者へのノウハウ伝承も限定的であった。

■経済効果の事例：

1. 排水機場におけるポンプ(ディーゼルエンジン駆動)は、機種と容量に応じて1～3年に1回のオーバーホールを行っていたが、新技術の適用による傾向監視を行うことによって、**2～3倍に間隔を延長。**
2. 農業用水用のポンプ(モータ含み)の更新は、予め計画されていたが、新技術により2台のポンプ・モータの**更新時期を5年間延期。**
3. オイルタンカー内の重油排出ポンプの**軸受交換周期を3倍に延命。**
(軸受自体のコストは比較的小さいが、停止・分解・交換・心出し・試運転調整・停止による生産損害などの費用は大きい)

ポンプ設備での採算性評価の事例

開放点検費用と振動診断費との比較

●農水省関連/排水機場ストックマネジメント:
コンサルタントS社と北海道開発局が共同検討

簡易二次診断概算費用

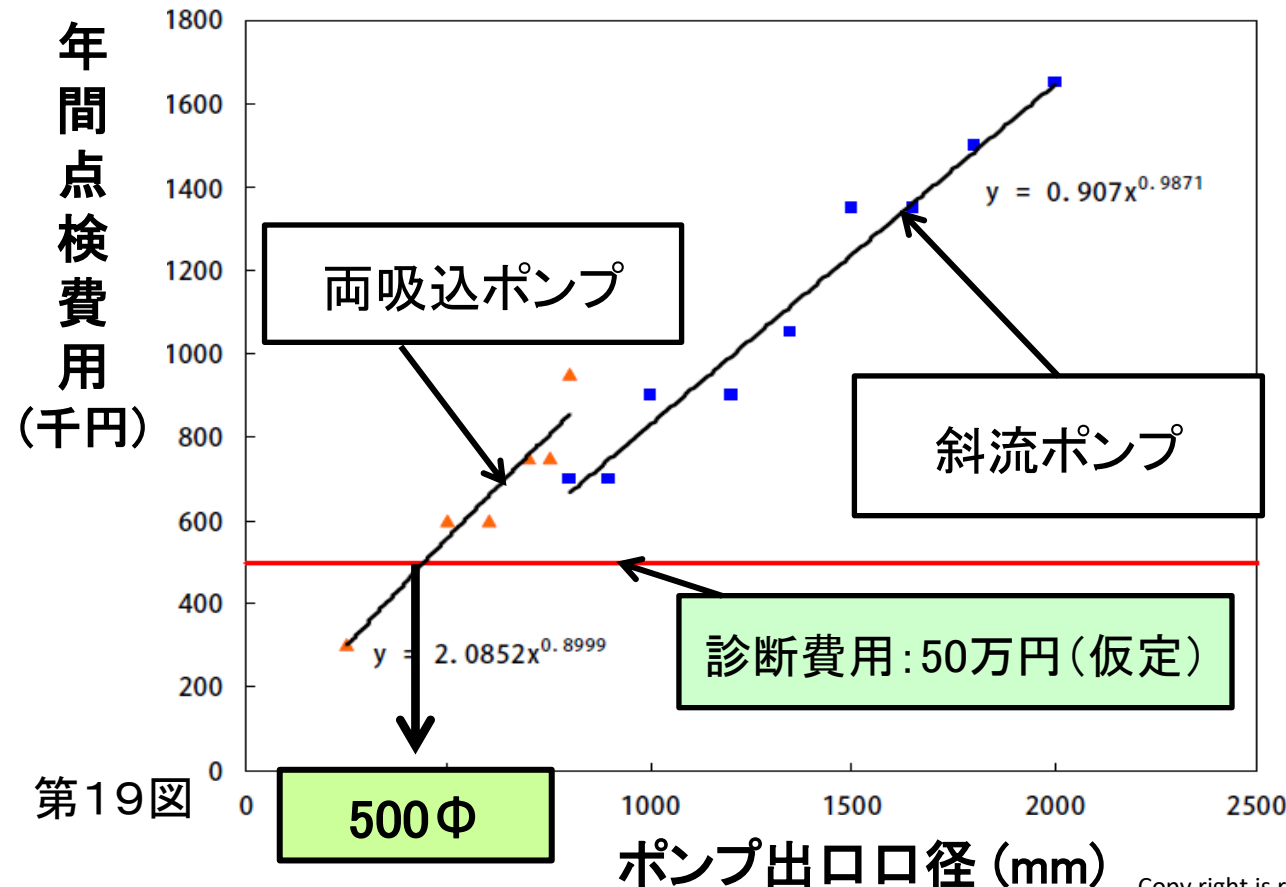
比較条件:

(1) 3年ごとに開放点検
(従来の保全ガイド)

(2) 劣化診断費用(一例)
1台当り 500千円/回

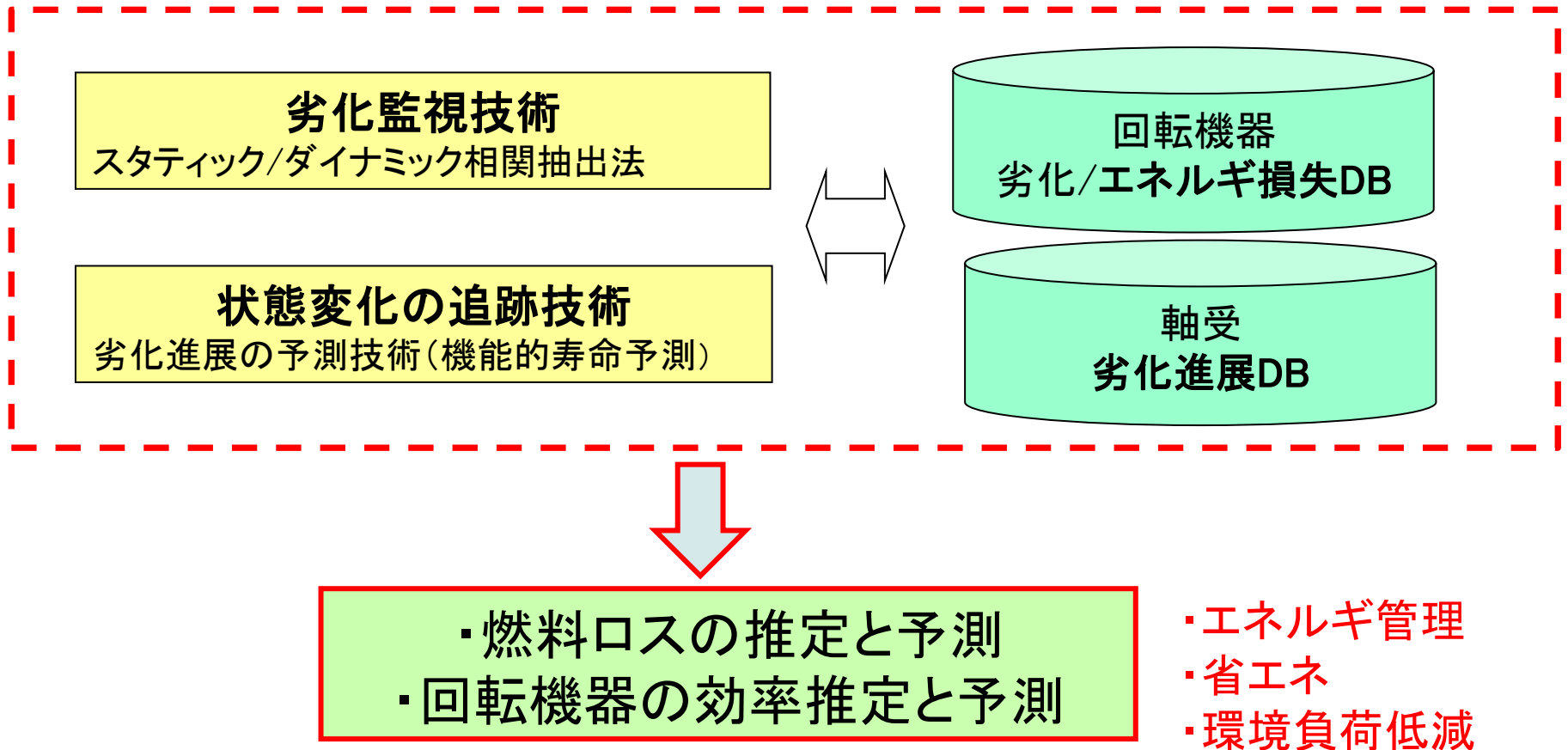


●出口口径500φを
超えるポンプ設備では
振動診断の方が
経済的である。



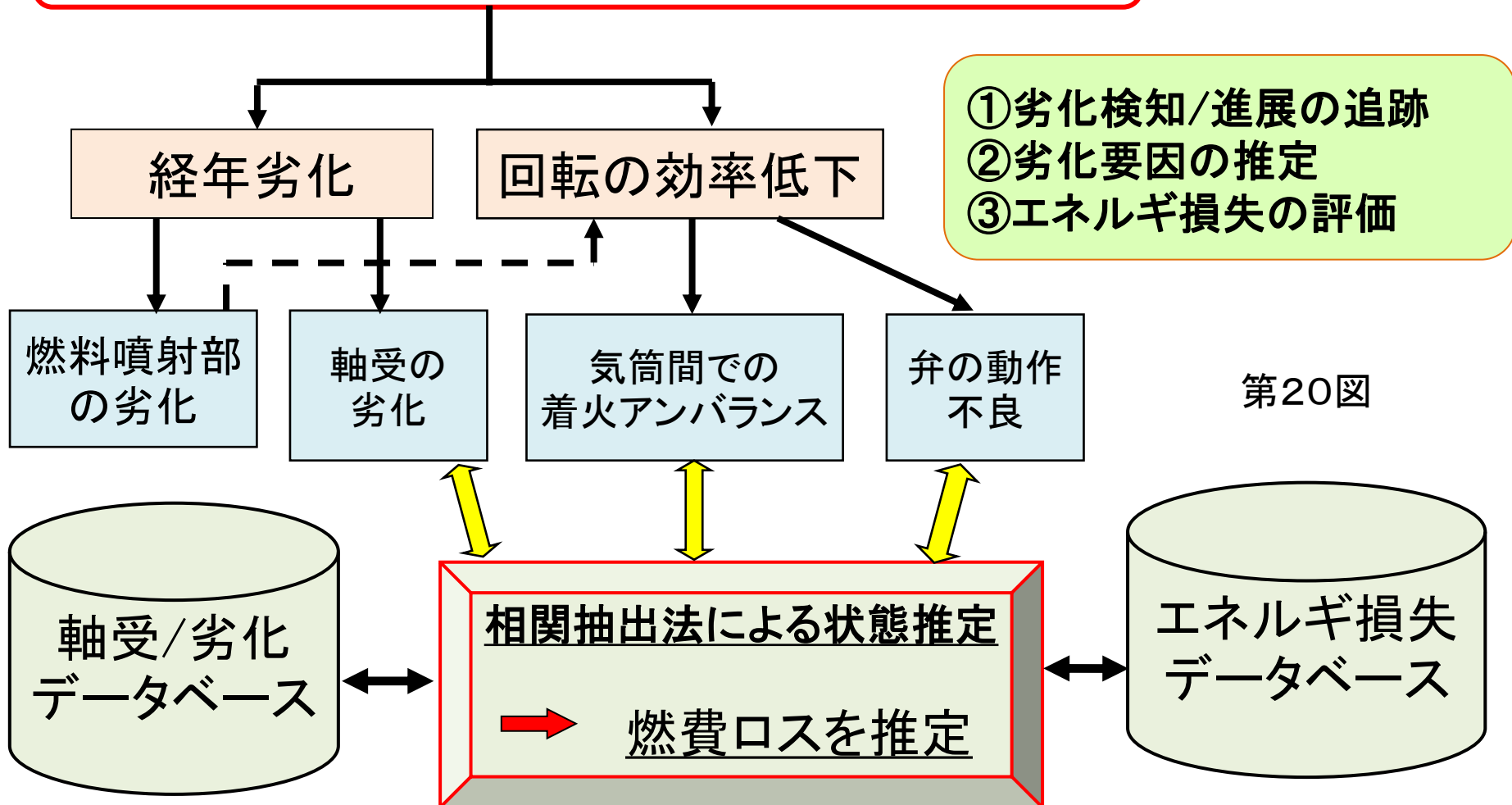
第19図

状態監視から効率監視へ

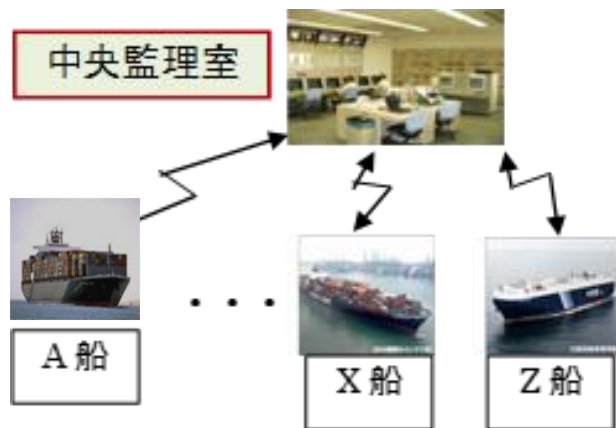


船舶エンジンの燃費ロスを推定

ディーゼルエンジンの燃費ロス（機械的・機構上）



コンテナ船／ディーゼルエンジンへの適用例



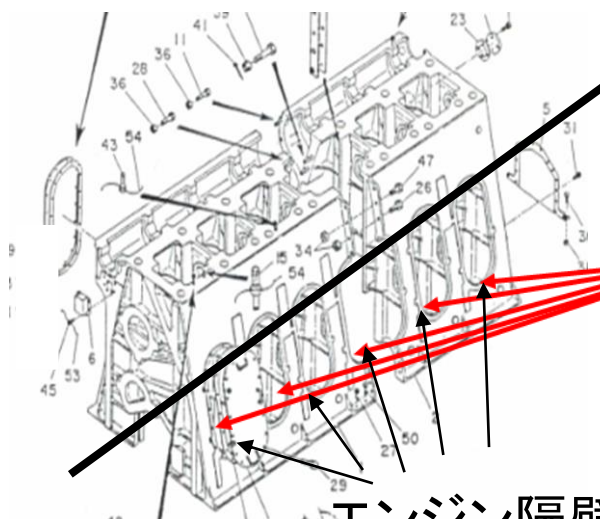
目的:

1. 各船舶の運航において、振動診断と燃費ロスの推移を集中的に監視。
2. 運航計画を先手管理、燃費ロスやエンジンの健全性を評価して保全計画・実行。

目標:

- ① 信頼性向上; 3倍以上
- ② 燃費 ; 2~5%低減
- ③ 保全コスト ; 5~15%低減

第21図



主軸 ユーザ: 運航時主軸受近傍での 振動データを採取



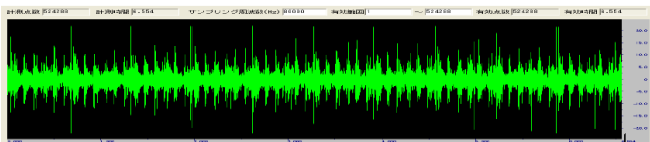
第22図

エンジン隔壁部 (軸受部)

データ解析・評価:

- ① ディーゼルエンジンの回転状況の良否
- ② 軸受の劣化状態
- ③ 傾向監視 (①、②について)
- ④ エネルギー損失の推定
- ⑤ その他、振動異常

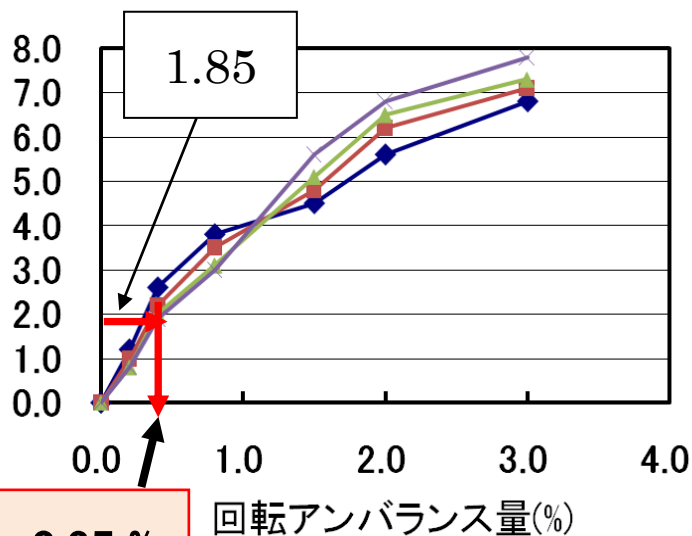
コンテナ船／ディーゼルエンジンへの適用例



振動の時間波形

●S法解析から得たDI値は1.85。

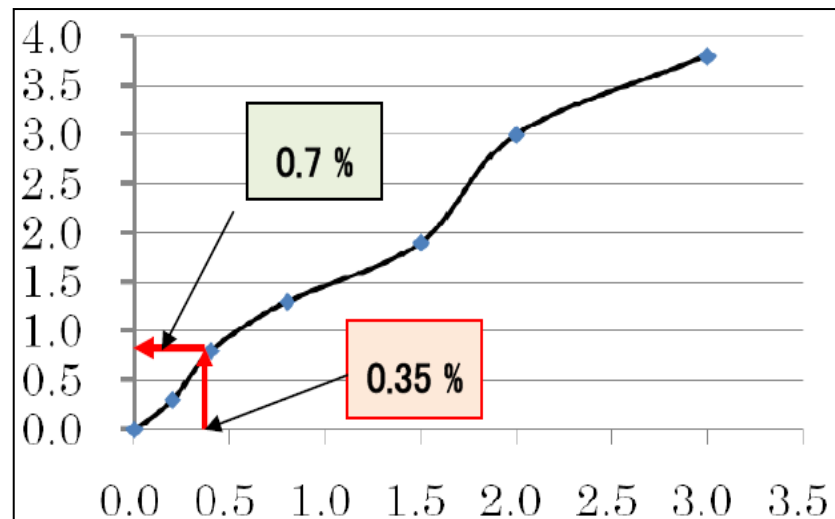
振動特徴量の変化
最大DI値



第23図

■DI値1.85 ⇒ 回転アンバランス量 0.35%

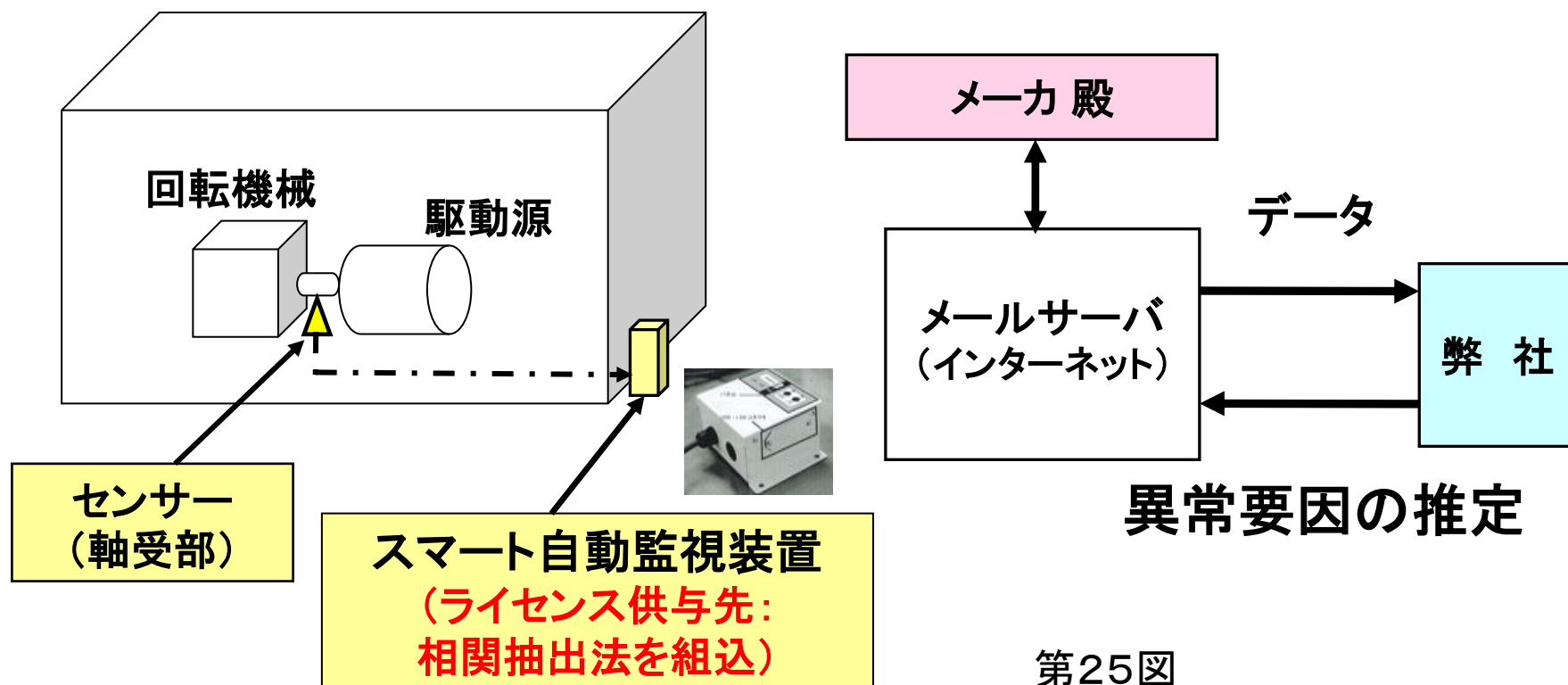
エネルギー損失量(%)



第24図

■回転アンバランス量 0.35% ⇒ 燃料損失 0.7%

回転機械の自動監視システムの事例(ライセンス供与先)



- スマート自動監視装置にて異常判定を行い、黄色ランプ表示が出たら、**警報発令**、赤ランプにて**運転停止等**の処置

特許・診断ノウハウ/ライセンス供与の事例

スマート自動監視装置

1. ライセンシー: 機械メーカー殿

2. 目的: 自社製品に

① 自己診断機能を付加

② 稼働率の向上

3. 相関抽出法を組み込み

最大 8個ヶ 取付可能



センサ (1ch) センサ (2ch)

測定ボタン
: データ測定の開始

USB転送ボタン
: 測定データ回収、詳細診断

センサNO

SENSOR

2

ALARM

CHECK

GOOD

MANUAL
RECORD

USB
OUTPUT

判定結果を表示

USBメモリ

環境保全への効果(回転機械)

回転機械の潜在異常の検知・予測・原因推定⇒最適時期に保全



●環境保全への効果；

軸受部でのデータ採取により異常事象を検知、原因除去型保全を実施

(1) 回転機械の更新時期の延長(農業用水用のポンプの事例)⇒1.5～2倍へ

(2) 軸受部品の延命(現状寿命の2～3倍に)

⇒当該部品の製造に係るCO2排出量の低減効果

・軸受の平均重量を300g/個；

⇒部品製造(素材含み)CO2排出量＝約1,000kg-CO2/個 ⇒ 1/3 ～1/2に

・間接的CO2排出量削減の規模

$2,960,980(\text{千個}) * 1,000 \text{ kg-CO2/個} * (1/2 \sim 1/3) = \text{年間 } \underline{14.8\text{億ton} \sim 19.7\text{億ton}}$

出典：(社)日本ベアリング工業会地球環境対策委員会“転がり軸受のLCAの調査・研究について”

(3) エネルギー効率の低下対策を最適化

船舶エンジンでの推定例⇒効率監視による効果；3%～5%の省エネルギーを期待

Ⅲ. 生産ライン／不良検知機能の開発

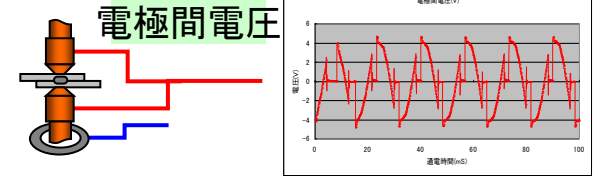
相関抽出法では様々なセンサーデータに対応⇒検査機能の向上へ

NO	センサーの種類	適用可能性のある劣化事象	事 例
1	加速度	生産機械の主軸回転の不均一や微妙な変動、ワークの加工硬化など性質の異常変化	①切削不良 ②曲げ不足 ③ロール寸法不良 ④穴あけ不良
2	音 響	生産機械およびワークの状態遷移、あるいは劣化が”いつもと違う”音響として発生する事象	①レーザ溶接 ②エンジン失火 ③部分放電
3	A E (超音波)	ワークの亀裂や放電など高周波発生的事象	①プレス加工 ②機密ガス漏れ ③部分放電
4	電流／ 電圧	劣化事象が駆動側へ影響(追従制御)して生じる入力エネルギーの変動など	①スポット溶接 ②抵抗溶接
5	その他	変位、温度、圧力などが有効な事象	-

主な開発事例の紹介

①スポット溶接良否判定(電流)

電圧データにて様々な溶接条件下での良否判定が可能



②ガスエンジンの失火検知(音響)

③プレス加工時亀裂検出(超音波)



赤枠内データに相関抽出法の適用により検知可能

④エアシリンダの動作不良(振動)

エアシリンダの緩みなど故障予知が可能

⑤製粉プラント機器(6種類・振動)

精米機・粳摺機・ローラミル等の先手管理(故障予知)が可能

IV. プラント異常兆候の検知・要因推定、運用の最適化

1. 運転・保全側からの視点

- (1) 潜在劣化・異常の予兆を検出・要因の推定
- (2) 「運転」と「メンテナンス」の相互関係を考慮した統合的
ライフサイクルメンテナンス

(“プラントエンジニア” 2014.12 月号 早大理工 教授 高田祥三)

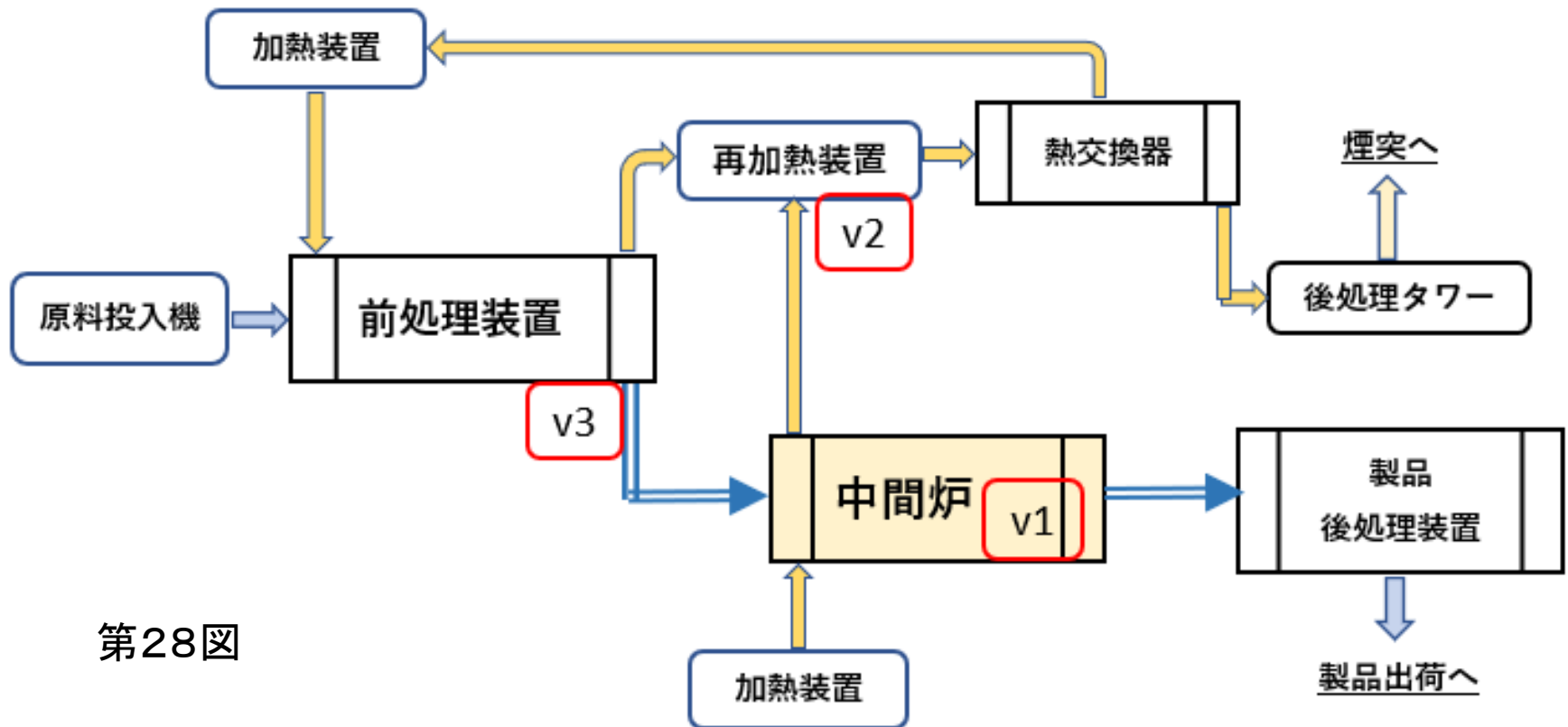
- (3) 回転機械の劣化進展の追跡；主システム系の変動との関連性
(“状態監視技術便り” 日本保全学会 Vol.4, No.3 2013年3月)

2. 運用の全体最適化という視点

- (1) 通常劣化・特異的劣化への処置と、3R(Reduce・Reuse
・Recycle)の観点とを統合
- (2) 下流側情報を構造化
⇒ サプライチェーン含んだ生産性の向上・付加価値の拡大

IV. 燃料化プラントでの異常検出の事例

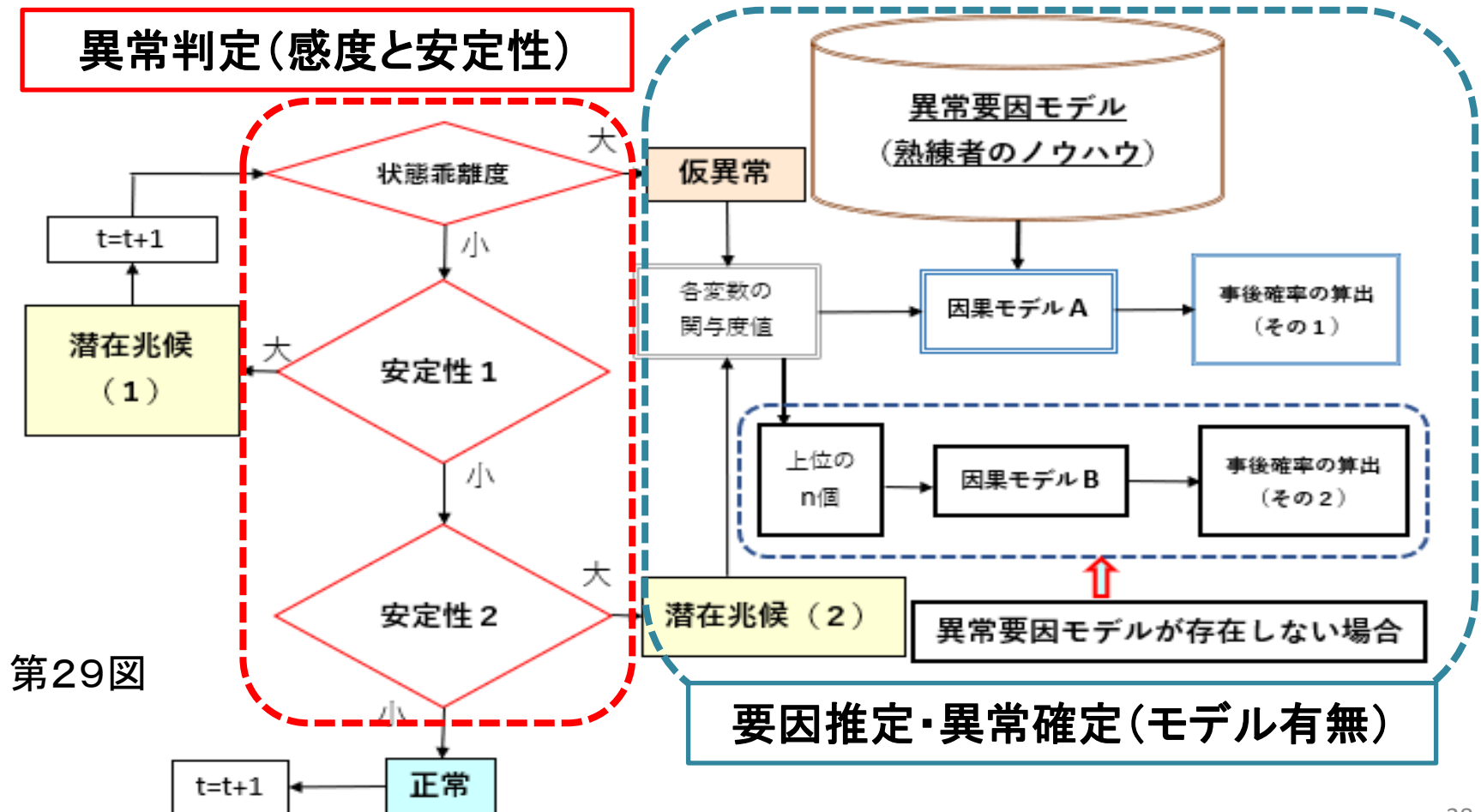
まず、異常検出と要因推定については、異常事象として、中間炉バーナ不良が発生した場合を取り上げた。(基本的な系統図;第24図参照)



第28図

IV. 燃料化プラントでの異常検出の事例

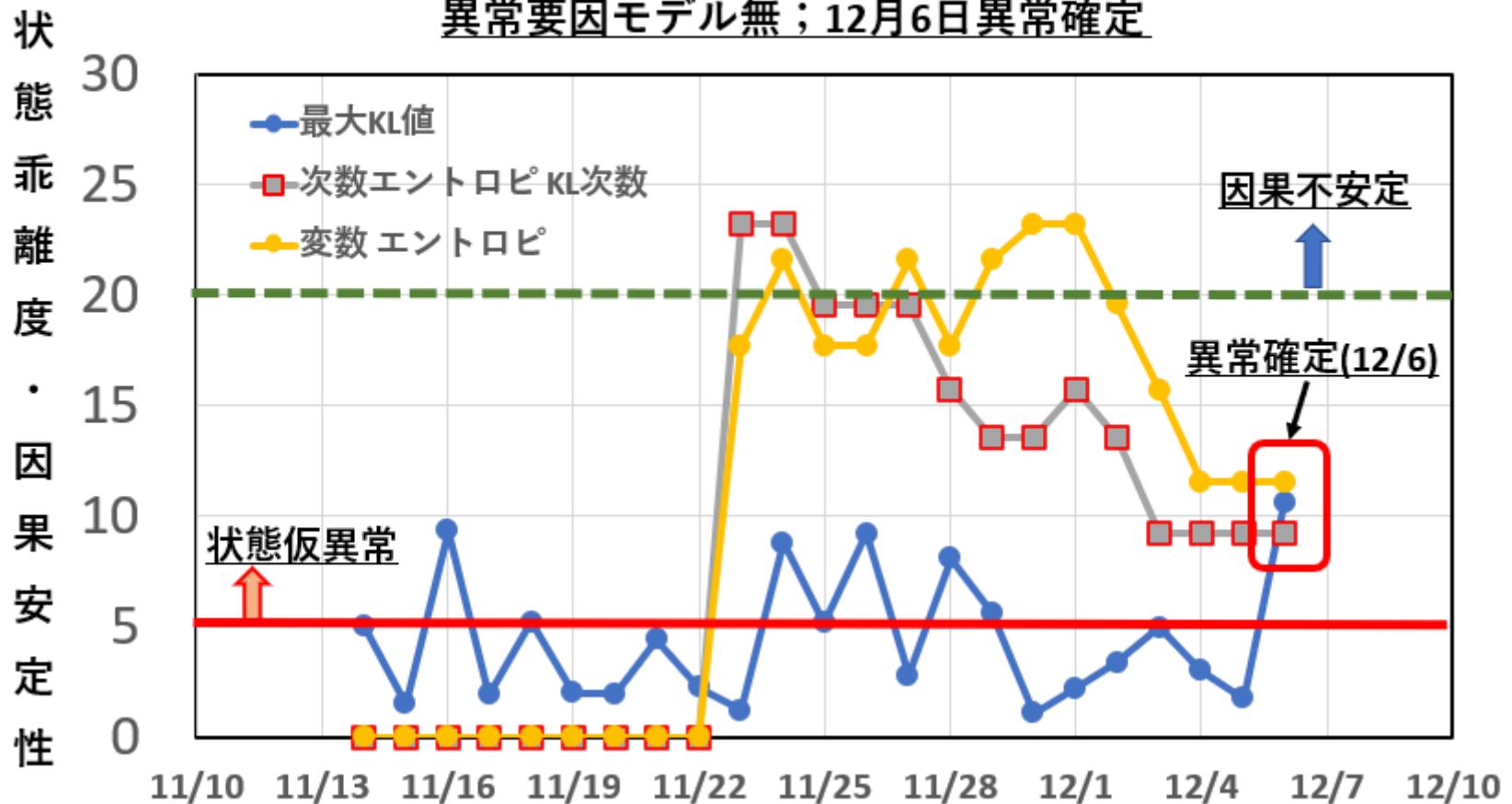
- データ解析・推定・判定方法について監視の基本的なフローを下図に示す。
- 異常要因モデルが存在しない場合にも対応可能である。



IV. 燃料化プラントでの異常検出の事例

状態乖離度・因果安定性の推移：中間炉バーナ不具合（12月7日発生）

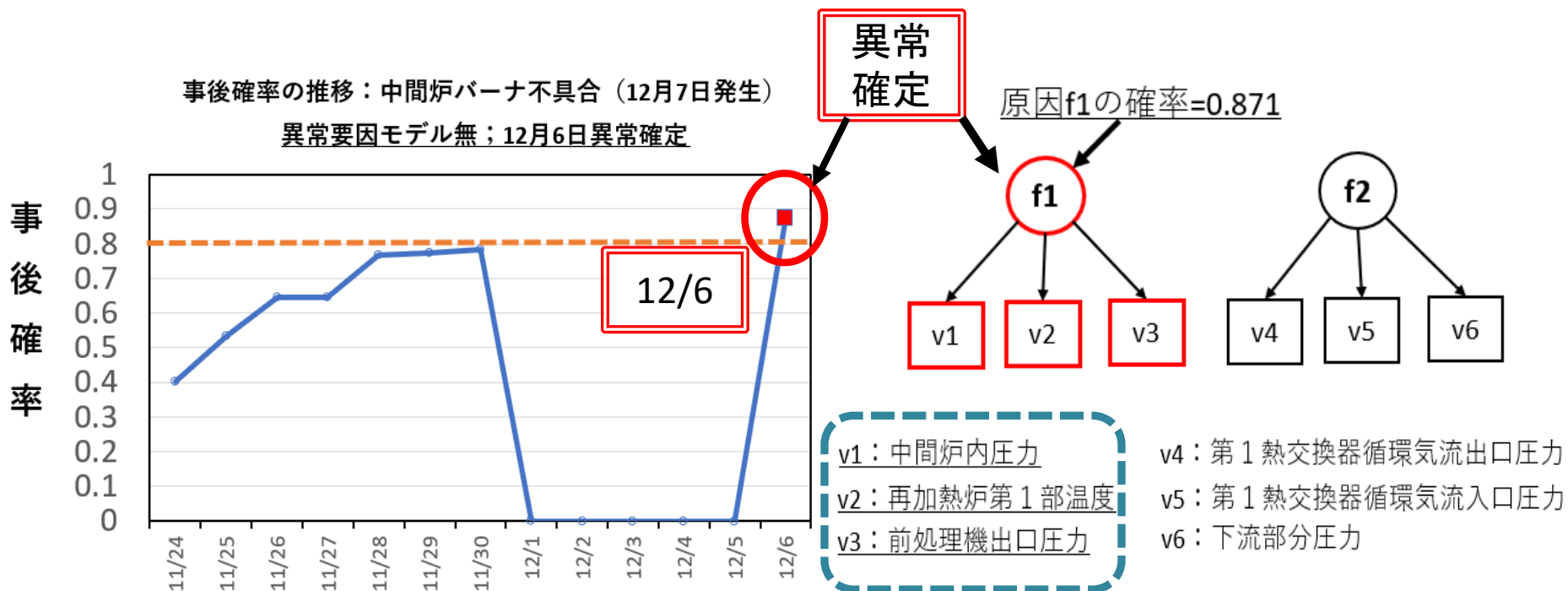
異常要因モデル無；12月6日異常確定



第30図

IV. 燃料化プラントでの異常検出の事例

1. 運転員は、中間炉バーナ不良を認識できず、運転不安定となった事例。
2. 異常発生日の一日前での検知ではあったが、当該バーナ不良発生を回避できる。
3. 中間炉バーナ不良に関するプラント設計者の見解：v1(中間炉内圧力)とv2(再加熱炉第1部温度)については妥当(V3は不明)。⇒実用的な要因推定
4. 予め、異常要因モデルが存在しない場合にも、要因推定のための情報提供が可能。



第31図

第32図

【特徴】

1. 通常劣化・特異的劣化・環境効率を考慮した状態推定及び予測
2. データ同化を適用して予測モデルを更新⇒状態予測の精度向上
3. 状態空間モデルと因果モデルを融合した強化学習⇒最適処置へ

(A) 通常劣化の追跡 ⇒ コスト有効度 E_c ・環境効率 V_{ef} の低下

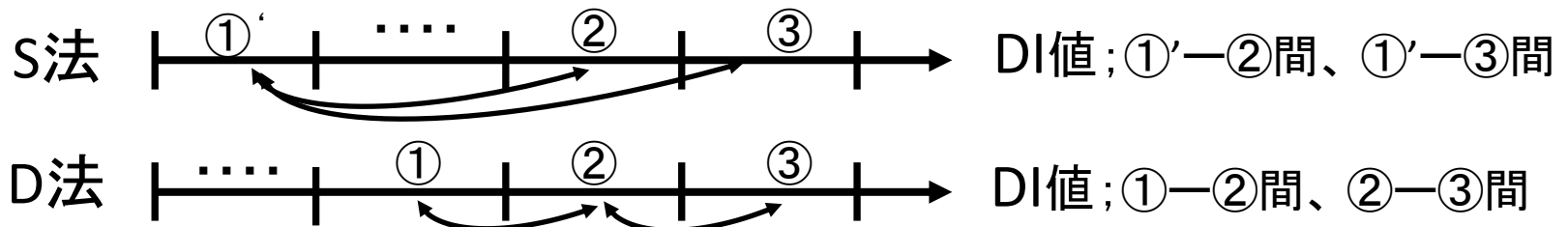
$$E_c(\Delta T) =$$

(生産高)/(取得・廃棄コスト＋エネルギー・原材料費＋その他固定費)

$$V_{ef}(\Delta T) = (\text{生産高}) / (\Delta T \text{ 時間帯当りの環境負荷})$$

環境面: エネルギー消費量のCO₂換算量及び3R(リデュース・リユース・リサイクル)の資源循環によるCO₂削減量を考慮

(B) 特異的劣化の追跡 ⇒ 統括DI値(下記の4種類)による判定



環境保全への効果・社会的貢献性

生産ライン・プラント装置の潜在異常の検知・予測・原因推定



●環境保全への効果；

(1) 生産ラインでの不良品の製造削減(ムダ削減)

- ①材料・部品調達量を最適化 ⇒ 部品の製造時のCO2排出量削減
- ②製造過程での投入エネルギーを最小限へ

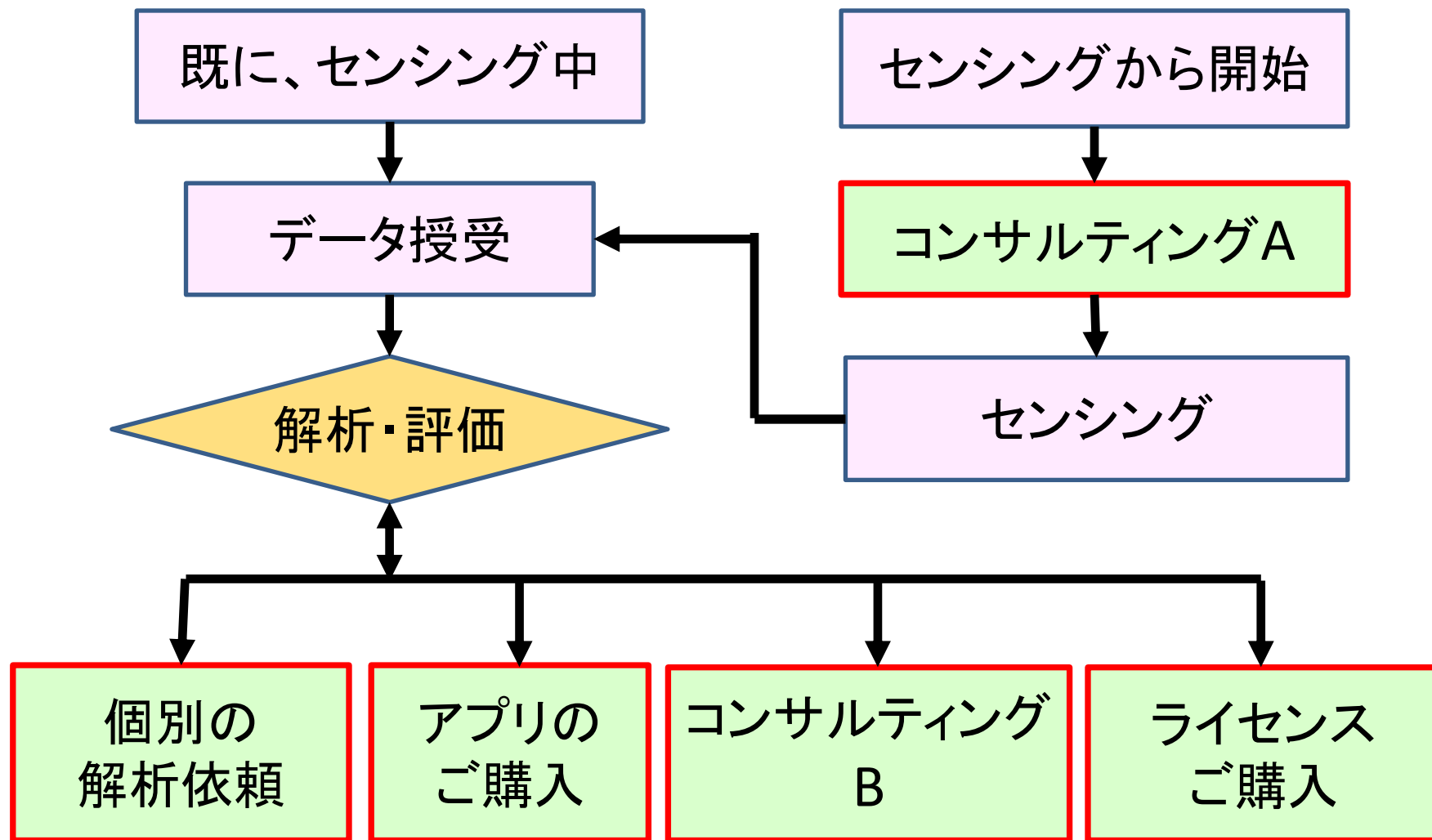
(2) プラント装置の構成設備の延命・保全効率化・省エネルギー

- ①更新周期の延長 ⇒ 設備・部品の製造時のCO2排出量削減
- ②DXによる保全効率化 ⇒ 稼働率向上、熟練技術の伝承
- ③構成設備の効率監視 ⇒ 省エネルギー

●社会的貢献性；

- ✓プラント装置；運転員が気づかない潜在異常の兆候を検出、因果関係・対応が可能
 - ⇒特に、**老朽化プラントの故障再発や事故を回避** ⇒ 社会的安全・安心へ
 - また、**高圧ガス保安規制のスマート化に対応** ⇒ 重大事故の撲滅

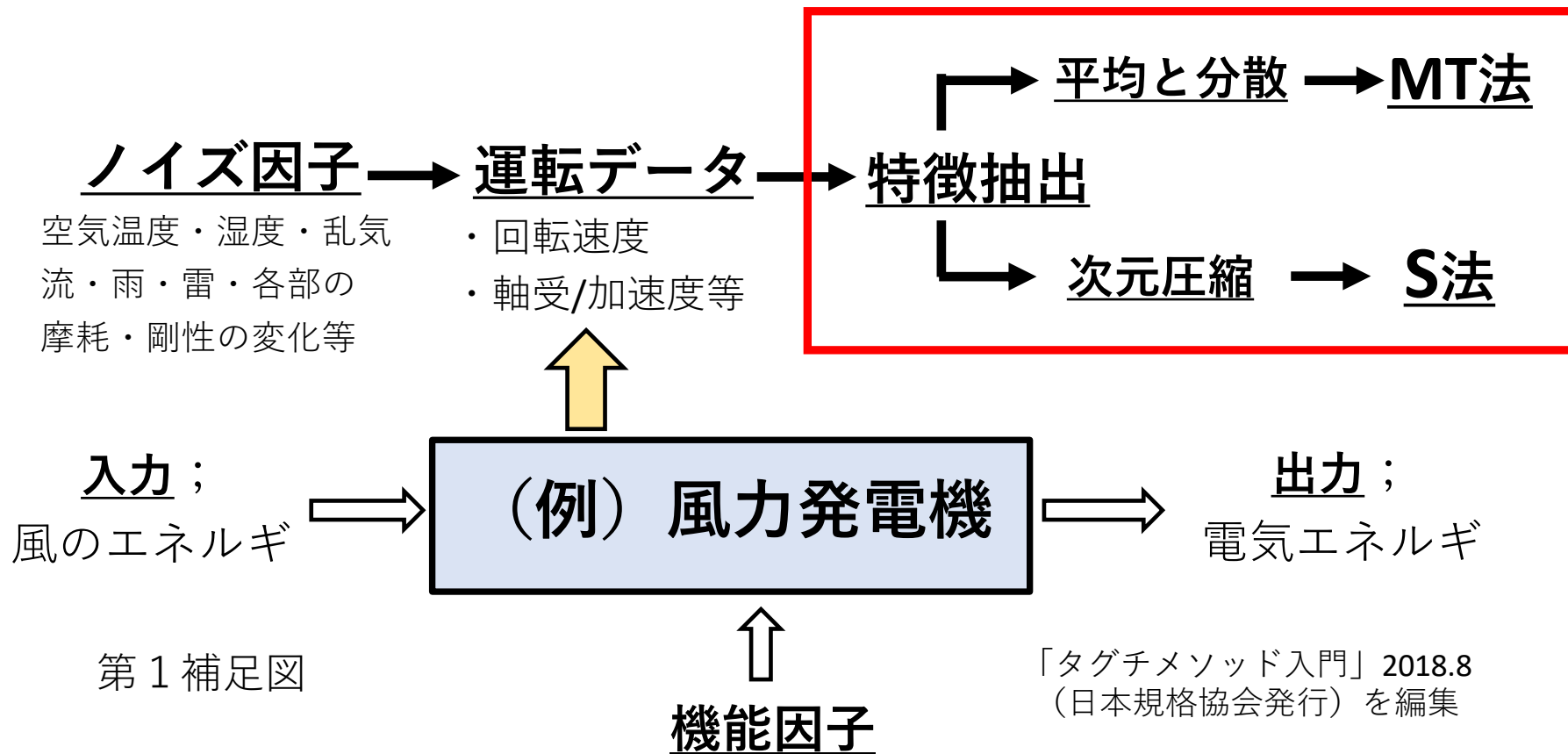
相関抽出法を基本とした状態監視技術の導入ご検討を！



以降、補足資料

マハラノビスタグチ法(MT法)と
相関抽出法(S法)との比較

状態の健全性評価の方法 MT法からS法へ



①羽根：形状・枚数・角度等

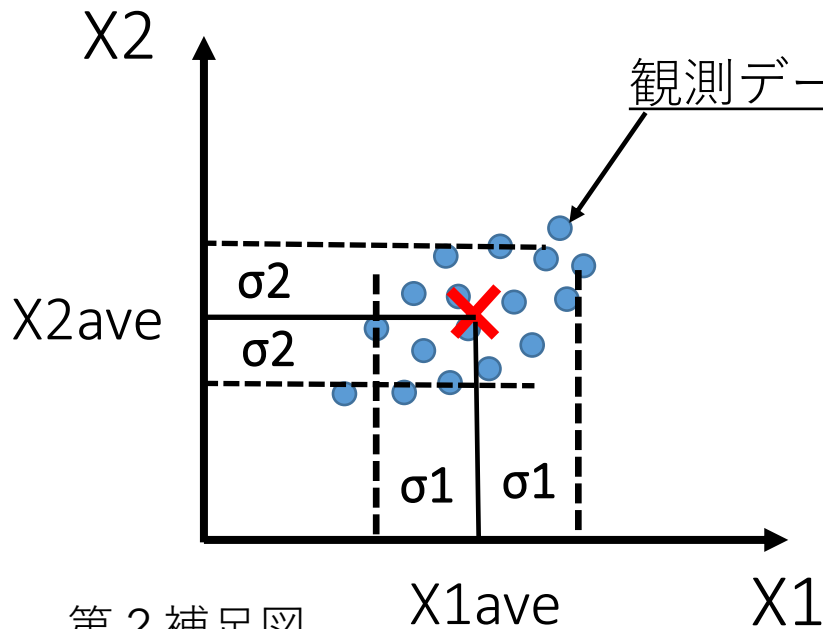
③シャフト：材料・直径等

②増速機：ギヤの構成・種類・ギヤ比等

④発電機：構造・材料等

特徴量の比較（2次元の場合）

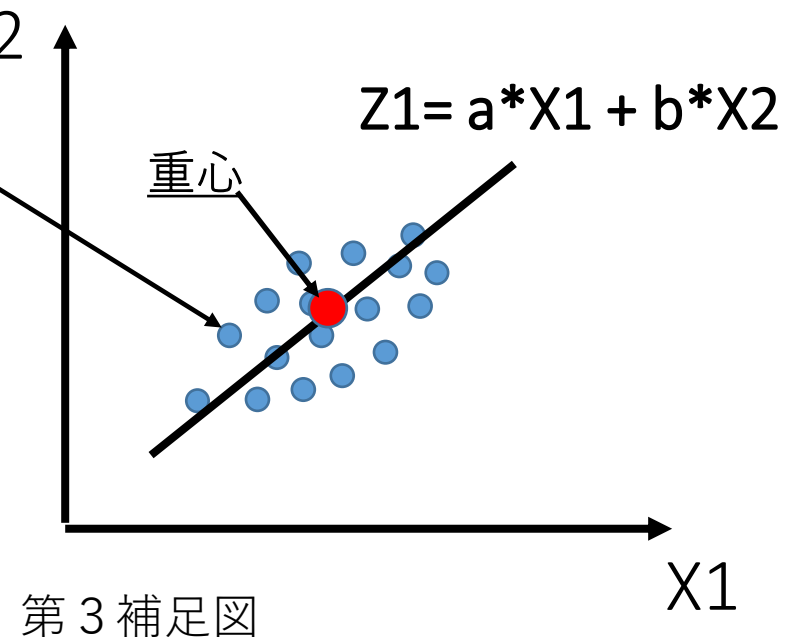
MT法の場合



第2補足図

平均値 X_{ave} と分散 σ^2
(X_{1ave}, σ_1^2 / X_{2ave}, σ_2^2)
→ 相関係数 r

S法の場合

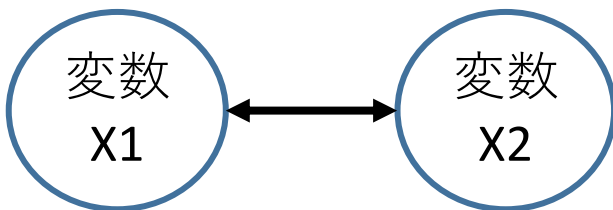


第3補足図

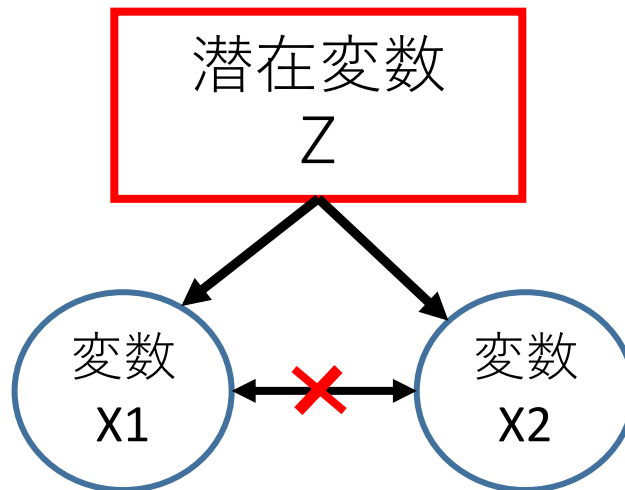
2次元 → 1次元 (Z_1) へ
係数 a, b は情報量の損失が
最小になるように決定

相関係数の中は、疑似相関が含まれる場合がある

マハラノビス距離には
相関係数 r を含む



第 4 補足図



第 5 補足図

正しい相関関係：
他の変数の影響がなく、変数 $X1$ と $X2$
との間には、相関係数が得られる。

疑似相関：
変数 $X1$ と $X2$ との間には、相関関係
が存在しなくても（上図 $\times$ ）、
両変数 $X1, X2$ が潜在変数 Z の影響を
受けるために、あたかも $X1$ と $X2$ の間
に相関関係があるように間違ふ。

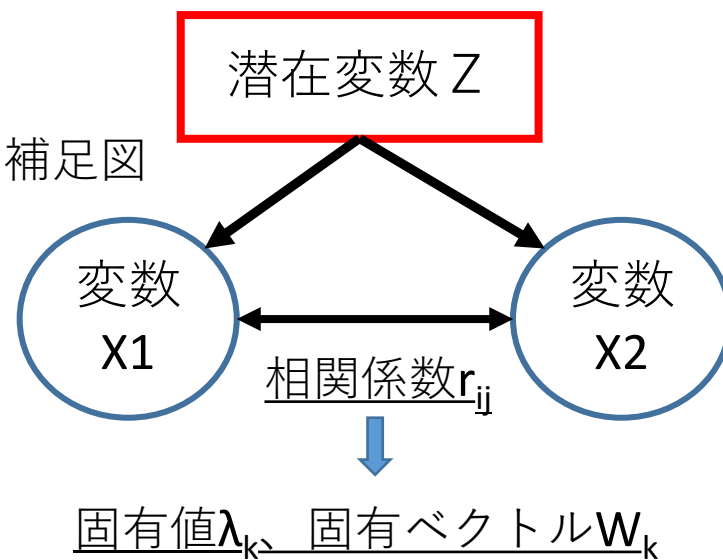
S法（相関抽出法）

1. S法では、多次元データから得た**相関係数**⇒**主成分分析**を適用することにより、基準データに潜在する特徴が固有ベクトルにて表現できることに着目。（脳内モデル）
2. 主成分分析における**特徴係数（固有ベクトル）の安定性**をみることで前記した**疑似相関を回避**。
3. 変数の値そのものではなく、一旦、**特徴量分布**を得たのち**同分布間の乖離度**を、状態変化の推定指標に。
⇒ 異常の検出感度や信頼性が、**MT法よりも高くなる**
4. さらに、異常判定時には特徴量に関連性が大きい観測変数群を抽出可能 ⇒ **要因推定の参考情報**

固有ベクトルの安定性にて疑似相関を回避

1. 変数 $X1$ 、 $X2$ 双方に影響する因果関係が背景に存在している場合は、変数間に疑似相関が生じている恐れがある。

第5補足図



2. 潜在変数 Z が観測される場合には、 $Z, X1, X2$ における偏相関係数を求めて、疑似相関関係の有無を判断することができるが、通常では潜在変数 Z の観測が不可能な場合が多い。
3. 潜在変数 Z の存在から、経時的に変数 $X1$ と $X2$ との相関係数 r_{ij} は不安定さを呈し、この不安定性を介して、主成分分析後の固有ベクトル W_k も不安定化するであろう。

- つまり、直接的に疑似相関関係を確定することが難しいので、固有ベクトル W_k の安定性 (信頼性) をチェックすることで代用することとしている。