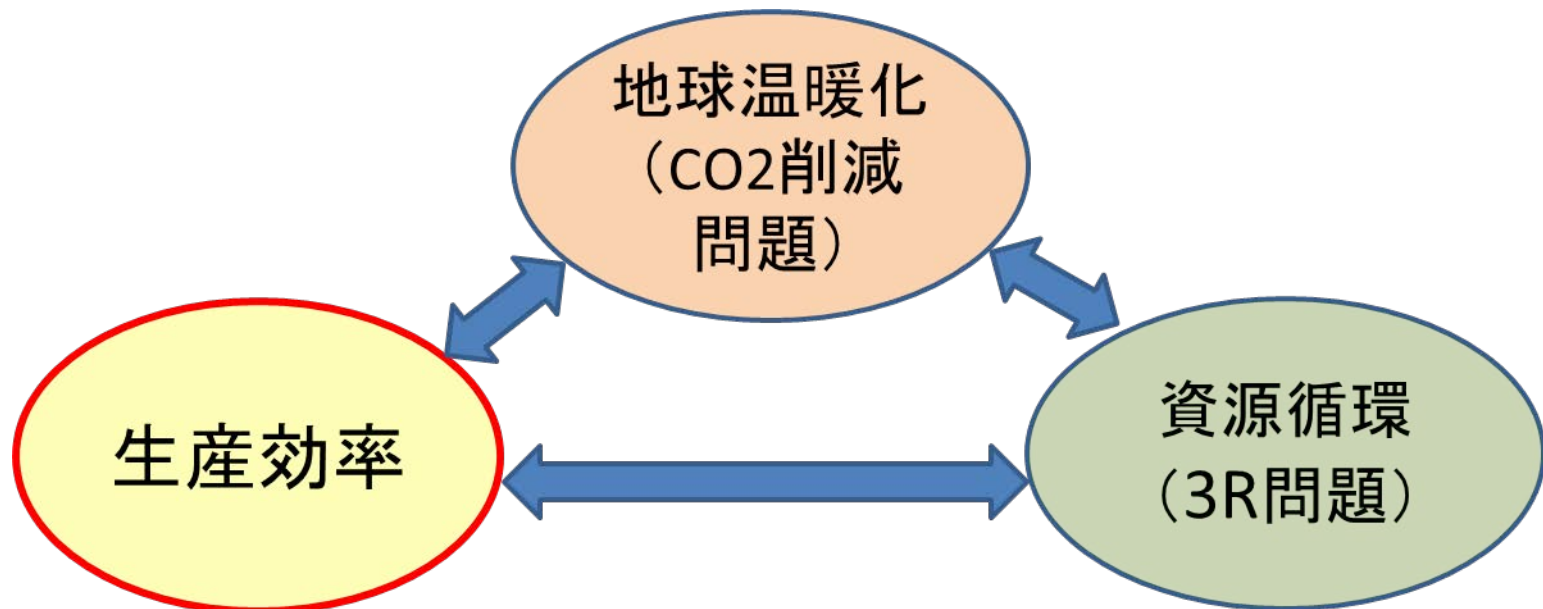


状態監視の強化による 生産効率と環境効率の両立について

“循環型・低炭素型生産システム”の構築支援を目指す
(SDGs Goal 9.4に対応)



株式会社エクストラネット・システムズ

目 次

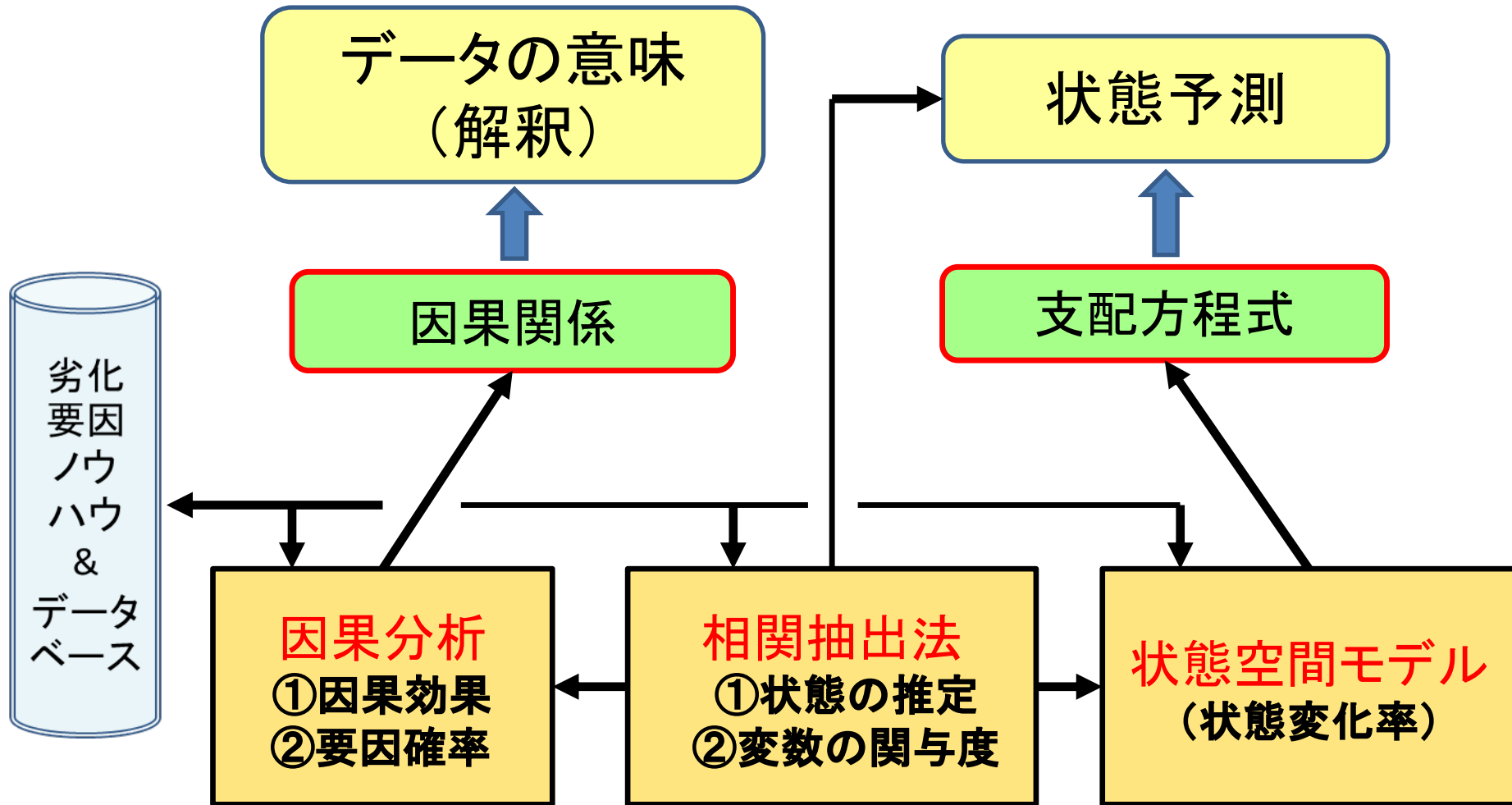
I . 新たな状態監視技術 : 相関抽出法

II . 回転機械の劣化診断 及び 生産工場/不良検出

II-1 . 回転機械の劣化診断サービス

II-2 . 生産工場での不良検知機能の開発

データから有用な情報を得る基本的アプローチ

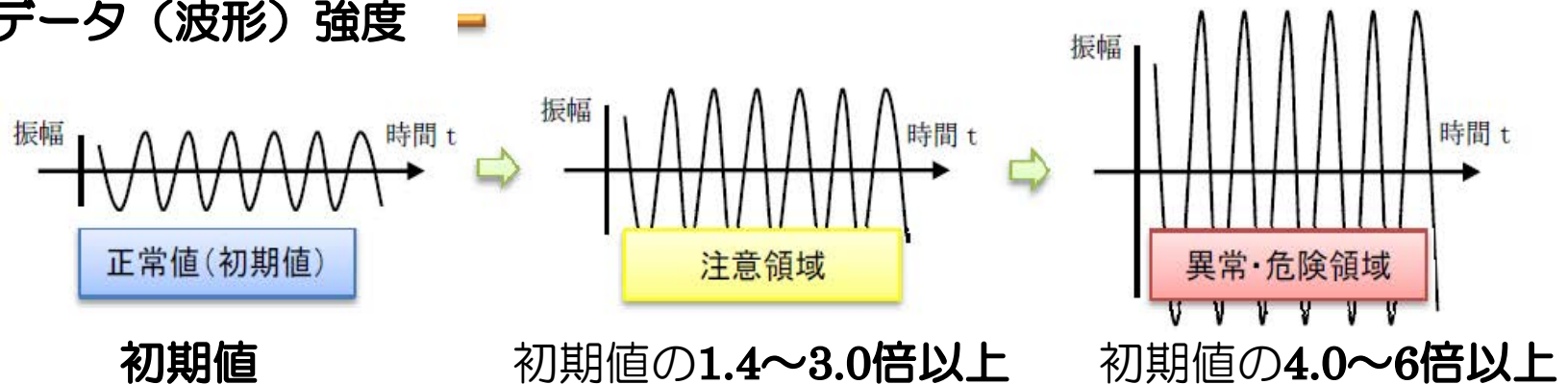


I. 新たな状態監視技術; 相関抽出法

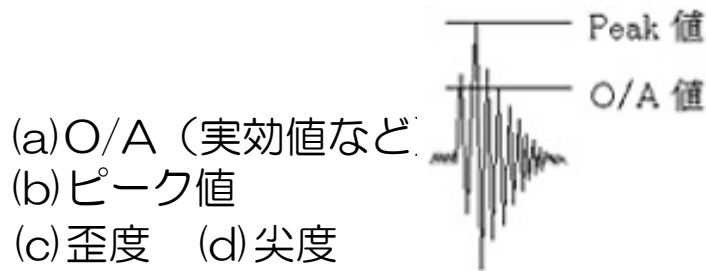
従来技術の課題: データの強度を判定指標 & 因果分析が非現実的

- 1) 潜在異常や欠陥の検出が不十分(熟練者の気づきを超えられない)
- 2) 因果モデルを絞り込めない
- 3) 運用の全体最適化が実用的でない

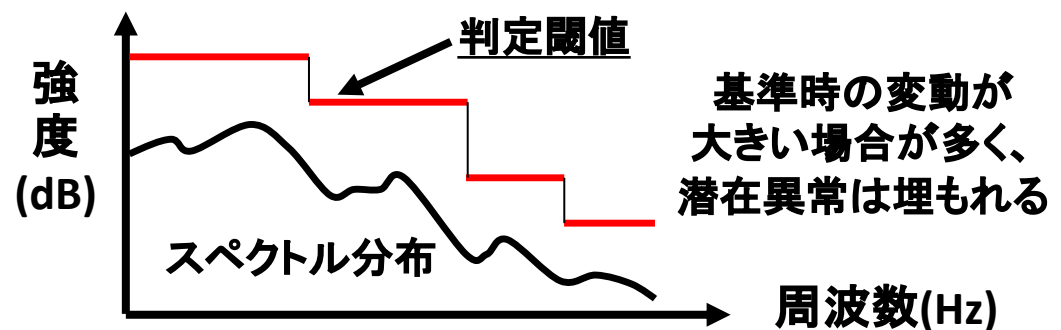
1. データ (波形) 強度



2. 特徴パラメータ



3. スペクトル分布の強度



I. 新たな状態監視技術; 相関抽出法

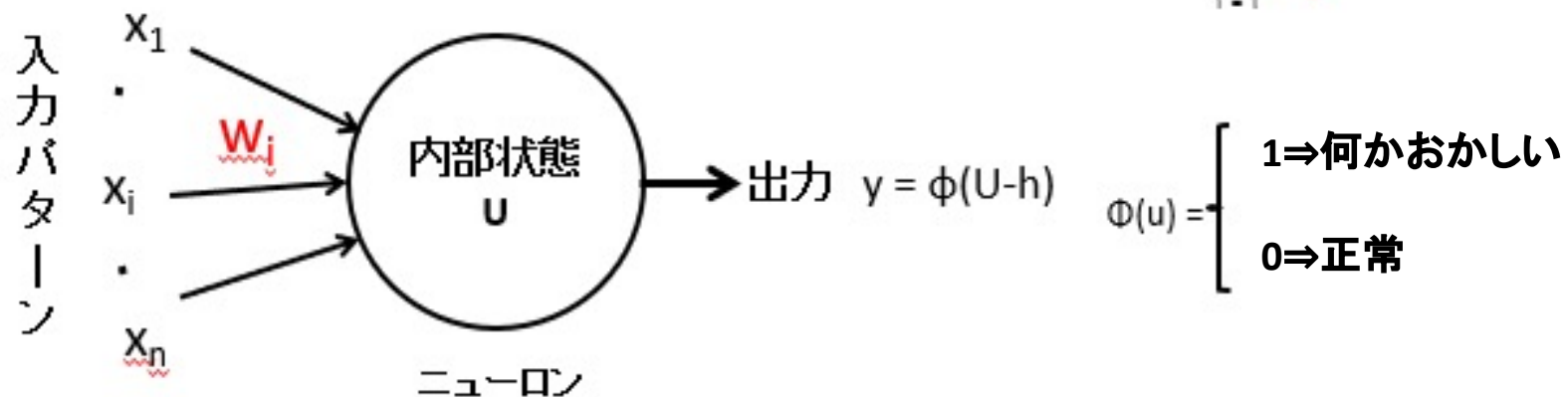
脳内での学習モデルを“相関抽出法”にて具現化

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 $\sum_{i=1}^n W_i * x_i$

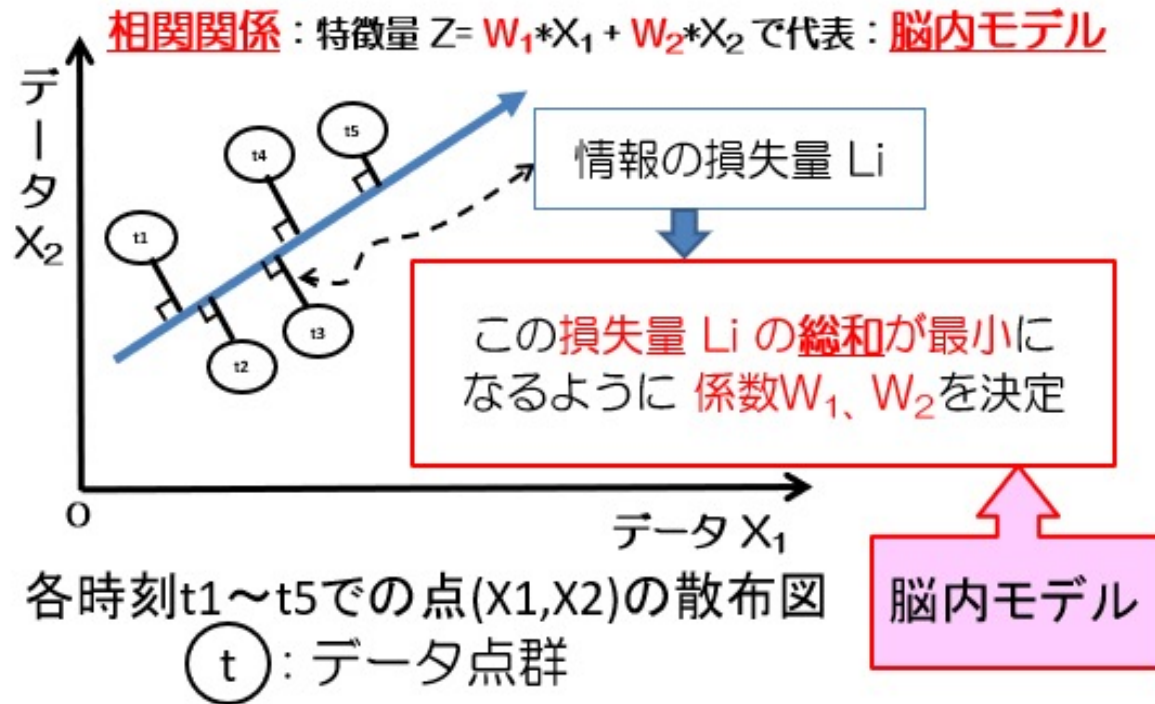


「いつもと違う」: 高い検出感度と、安定した判断

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

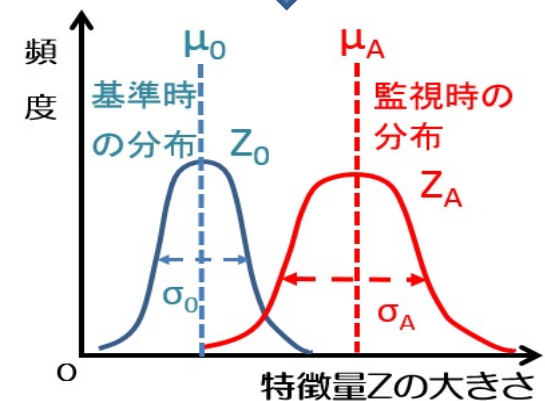


相関抽出法; 教師なし学習

特徴量分布の算出

① 基準特徴 Z^0

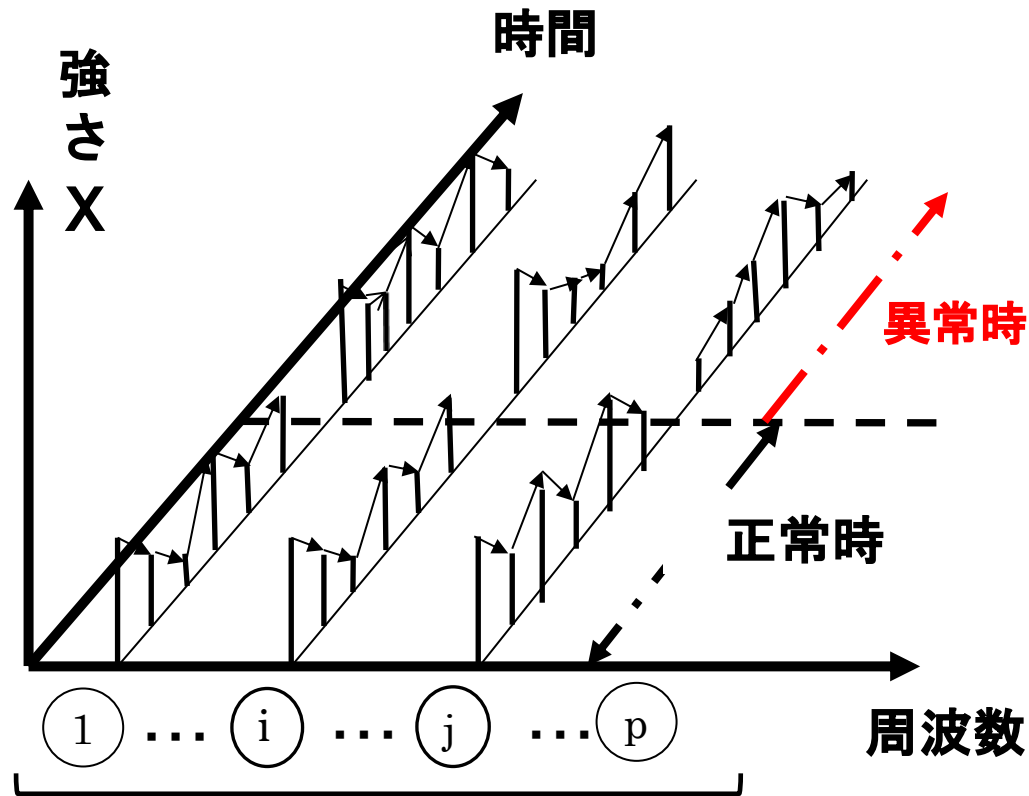
② 監視特徴 Z^A



分布の乖離度⇒判定

I. 新たな状態監視技術; 相関抽出法

時間波形への適用



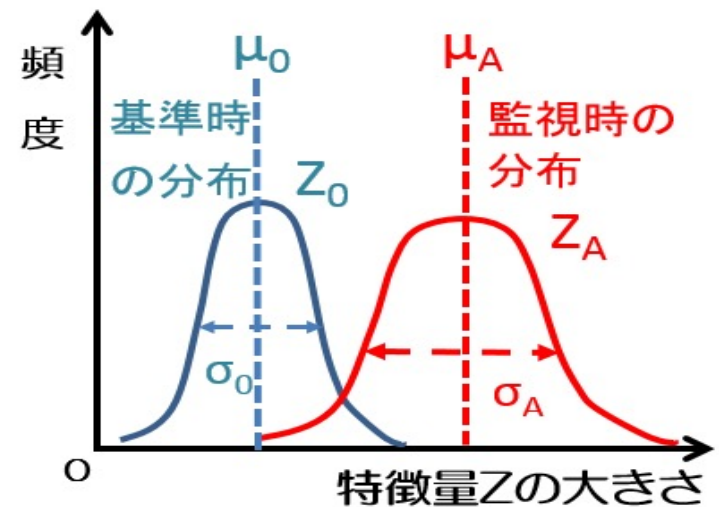
複数の帯域に分割

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

DI値を判定指標

分布間の乖離度(DI値)算出

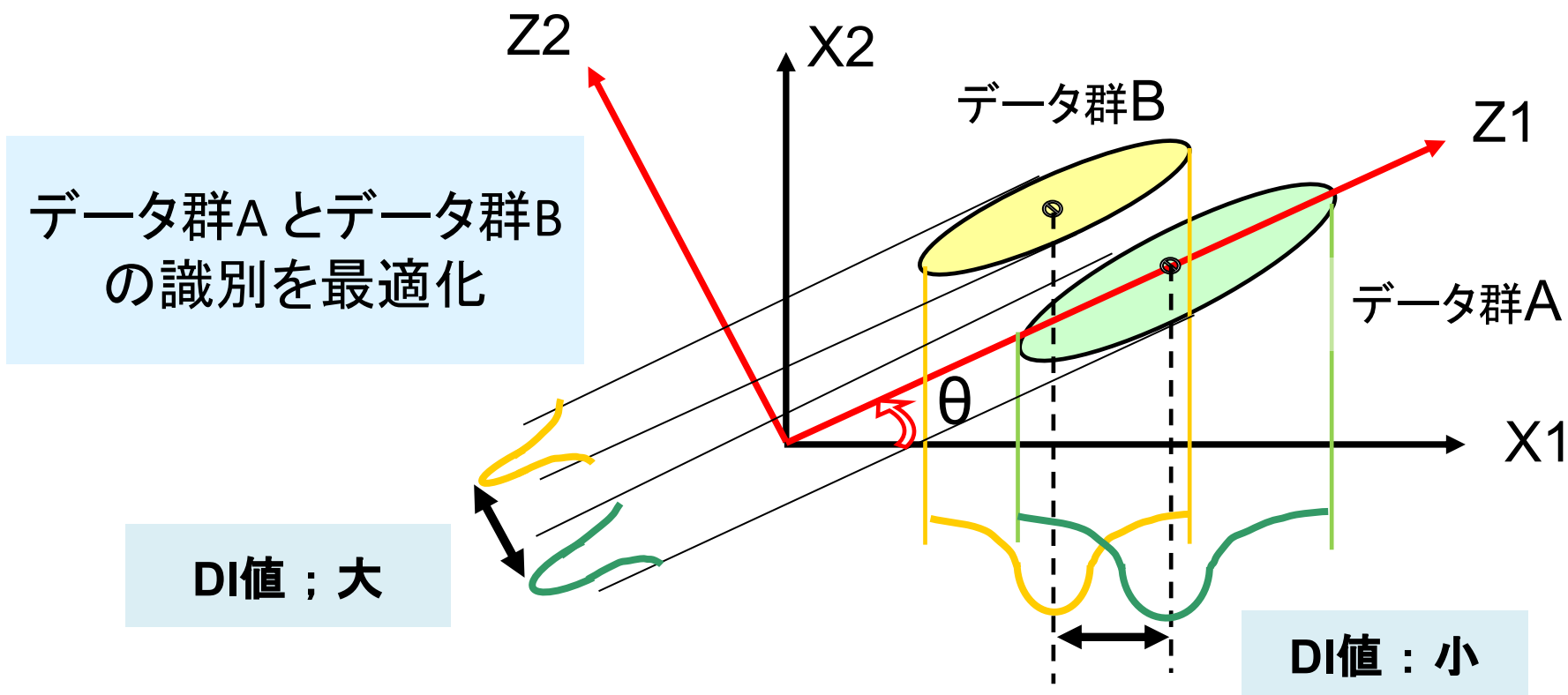


特数量 $Z=W*X$ を算出

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



2つの相関抽出法（スタティックとダイナミック）

● スタティック相関抽出法 ●

基準データが存在する場合

基準データの時間波形と対象データの波形全体に潜在する特徴量を抽出し比較する。



⇒ 特徴量 O_s を抽出



⇒ 特徴量 T_s を抽出

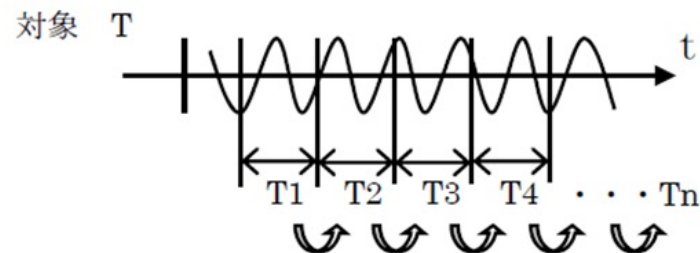
特徴量 O_s と特徴量 T_s を比較し、基準である O_s に対して変化があるかを解析する。

検出精度が高い

● ダイナミック相関抽出法 ●

基準データが存在しない場合

基準データとの比較ではなく、対象データの波形を時分割し、隣接した時間帯における潜在する特徴量を順次比較してゆく。



⇒ 特徴量 $T_{d1}, T_{d2}, T_{d3}, T_{d4}, \dots, T_{dn}$ を抽出

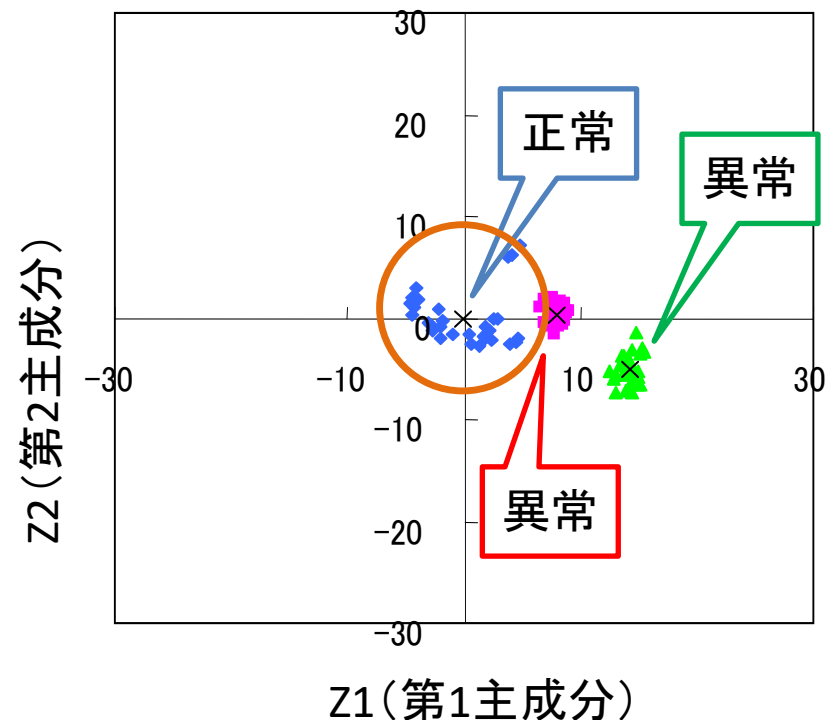
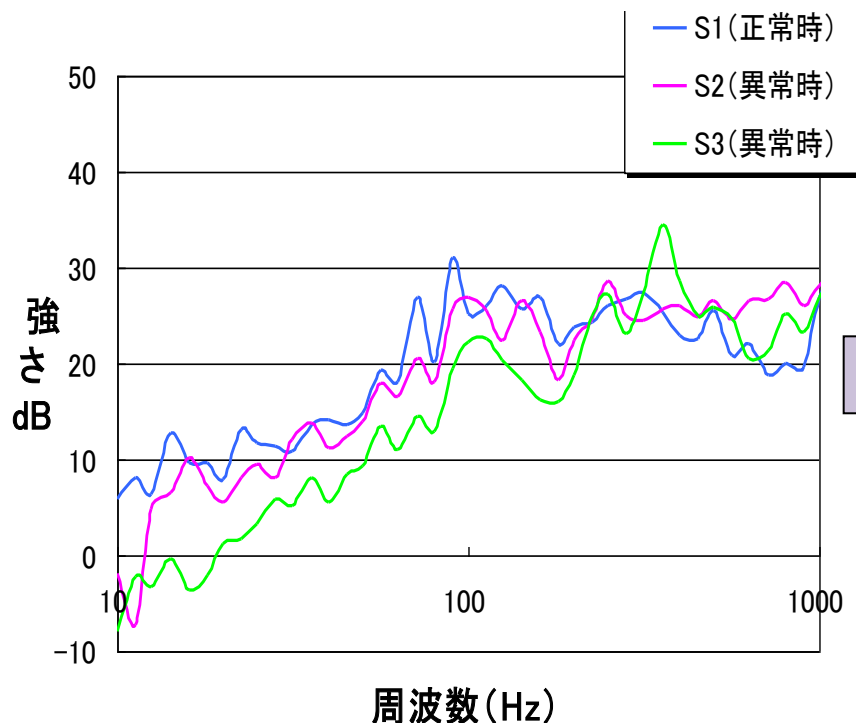
特徴量 T_{d1} と特徴量 T_{d2} とを比較、特徴量 T_{d2} と特徴量 T_{d3} とを比較といったように、分割した時間帯の隣接した特徴量の変動に着目して診断指標を得るものです。

初見検知が可能

I. 新たな状態監視技術; 相関抽出法

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

○ 相関抽出法によって検知可能

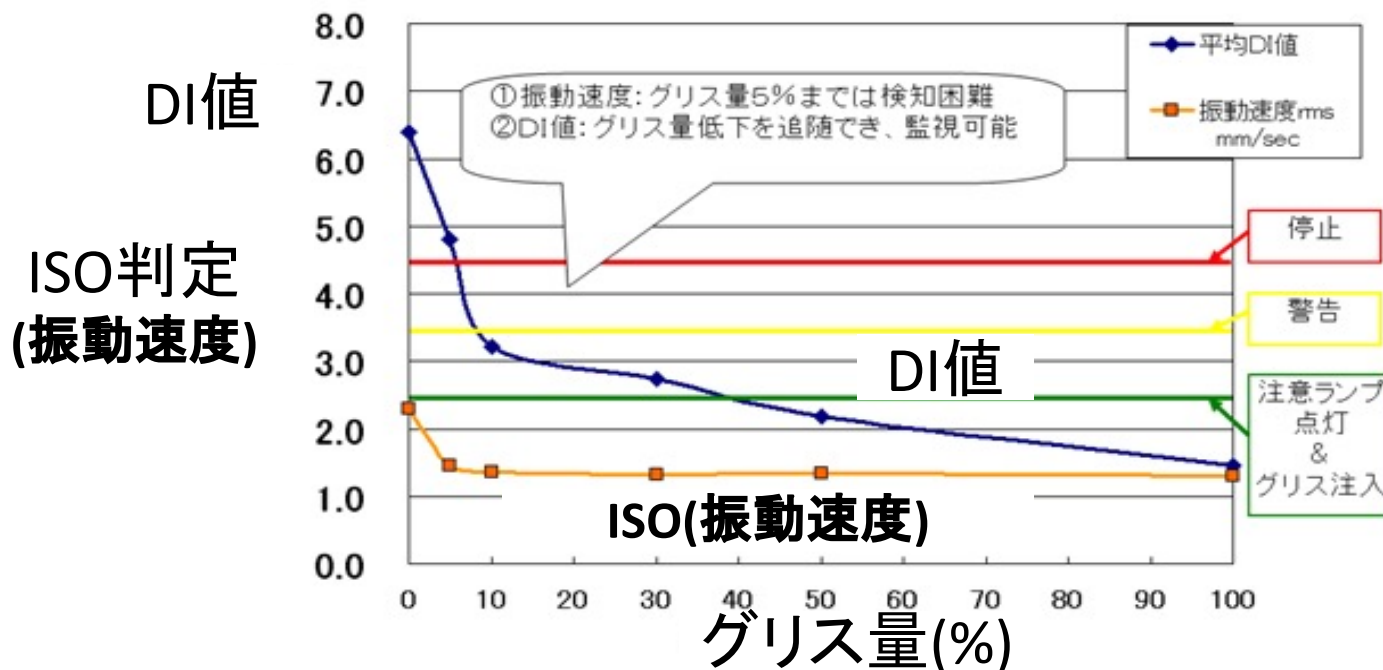
第1図

第2図

I. 新たな状態監視技術; 相関抽出法

相関抽出法の有効性事例 その2 (グリス量低下)

軸受 / グリス量減少 ⇒ 従来、振動では検知不能



第3図

“プロアクティブ保全 (原因除去型)” のための診断を実現
2014年度TPM優秀商品賞 (開発賞) 受賞

Ⅱ. 回転機械の劣化診断 及び 生産工場/不良検出

●従来技術の課題: 信号の強度を基本的な指標

【対象設備から得た振動などの波形データ⇒健全性を診断】

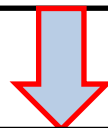
1) 初期異常の安定した検出が難しい

2) 初見(1回のみのデータ)の異常診断は困難

【生産ライン／振動・電流などの波形データ ⇒ 良否判定】

1) 微小欠陥や不良品の安定した検出性能は不十分

2) 生産用機械の微小な不安定性が、製品品質のバラツキを生じる



●「**相関抽出法**」(特許第3382240号、特許第5753301号、特許第6680430号)

波形データに潜在する特徴を抽出し、設備の劣化状態を反映する指標により微小異常の検出感度が向上、原因推定が実用的に(特許第6154523号)

⇒ **潜在異常・欠陥の検出・要因の推定、製品品質の維持**

Ⅱ－1. 回転機械の劣化診断サービス

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
・・・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、適時に充填する
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(30rpm ~ 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

劣化診断サービスの技術的効果

1,375台@2019.12

(朱記した項目が従来では診断困難)

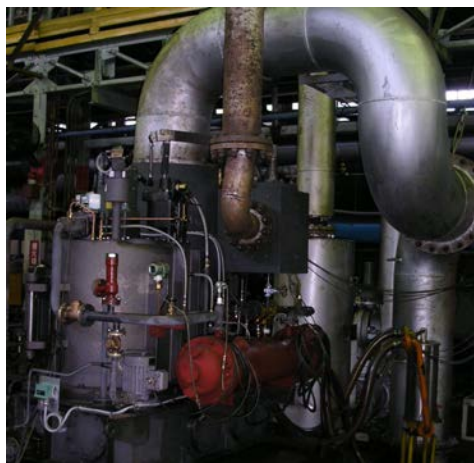
業 界	対象機器	台数	主な有効性
石油化学	・高圧ポンプ、ドライヤ コンプレッサー、ローラ	5	●超低速回転機器／軸受傷を検知 ・メカニカルシール部／ガスリーク検出 など
石油精製	・エキスパンダータービン コンプレッサー	4	・タービン内流動異常を検知 ●モータ異常(固定子)を検知
鉄 鋼	・圧延機(熱間・冷間)、 油圧ポンプ、	4	・ローラ軸受傷検知および進展追跡 ・最適な軸受交換時期を検証 など
ガス製造	・ガスエンジン発電機 コンプレッサー、	3	●ガスエンジンの爆発による外乱下にて 主軸の回転アンバランスを検知
電 力	・ミル減速機、ブロワー、 循環ポンプ、コンプレッサー、 ディーゼル発電機、ローラ	238	・石炭粉砕ミルの大きな振動下にて傘歯車 の劣化を診断 ・ブロワー／空気流動異常を検知 ・送炭コンベア／ローラ; 低速回転振動監視
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	884	・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 ・モータ軸受グリス減少を検出 ・機構的劣化事象を傾向監視

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/(台・年間)	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)

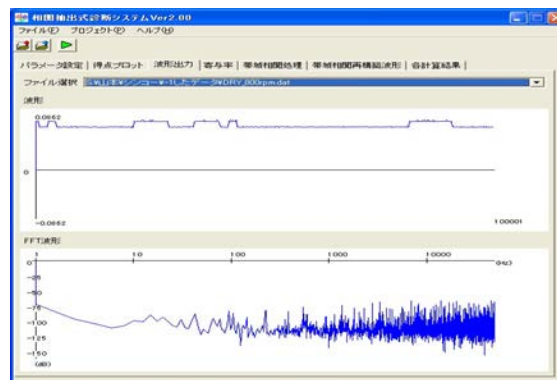
タンカー／カーゴオイルポンプの軸受けの焼付監視



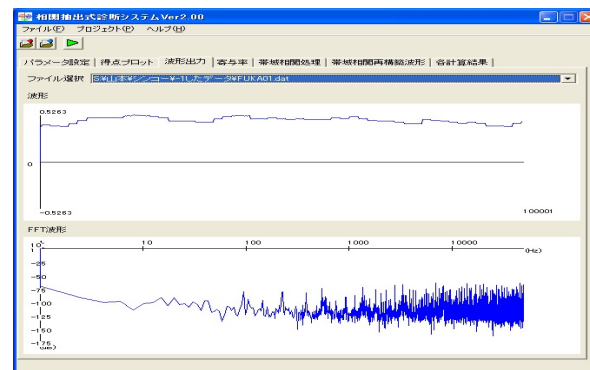
カーゴポンプのタービン駆動部



特殊軸受部に取り付けた振動センサ

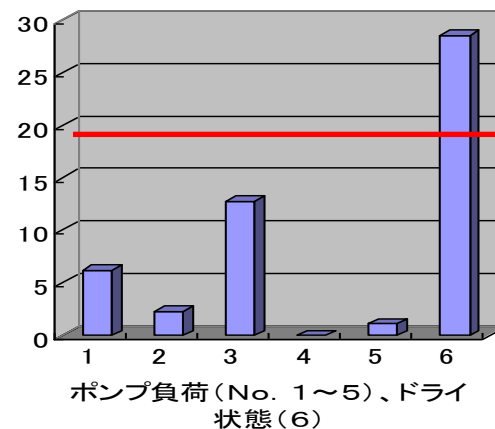


ドライ状態での振動波形と周波数分布



最低負荷状態での振動波形と周波数分布

相関抽出法による
特徴量の乖離度
(最大DI値)

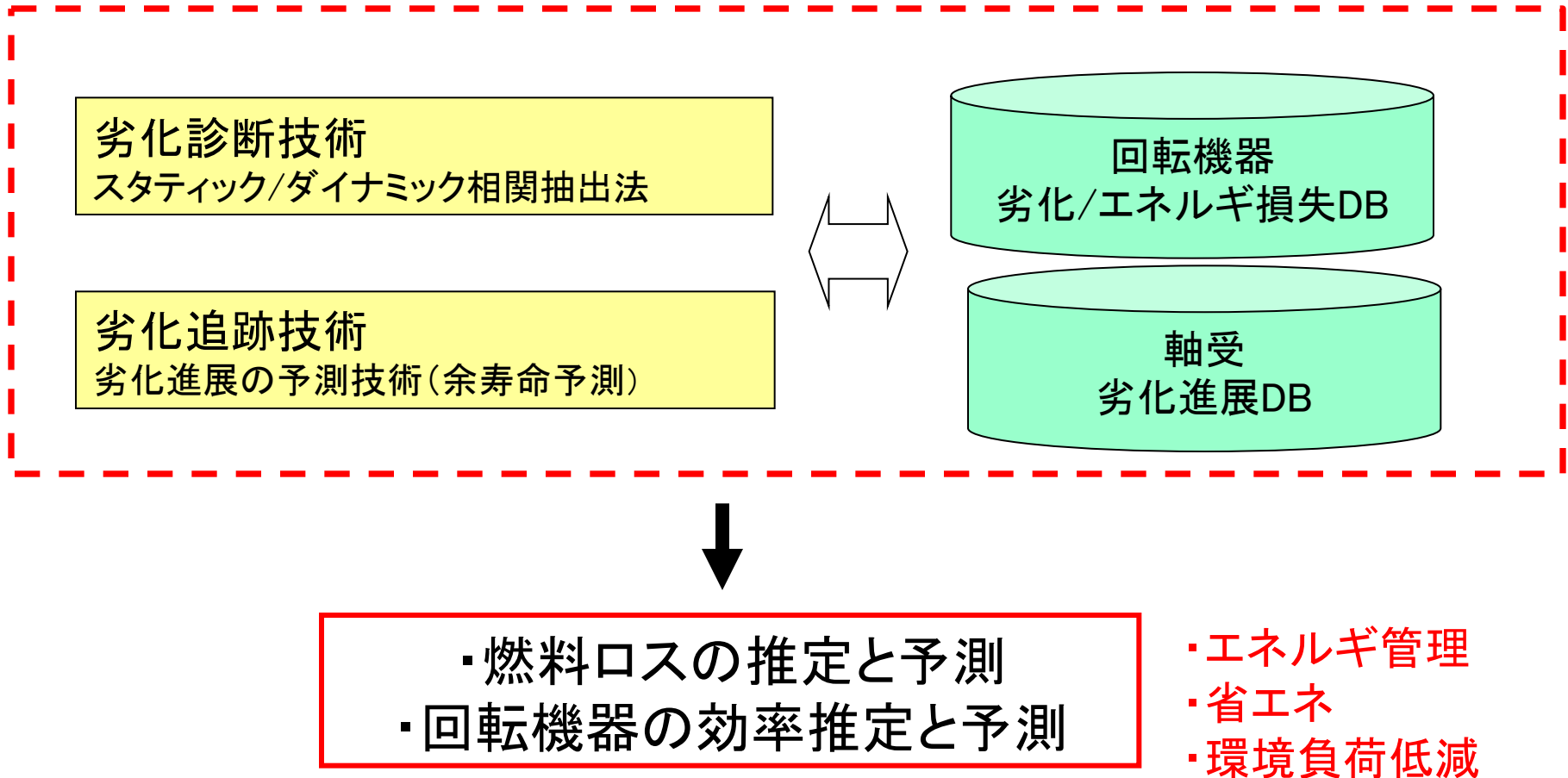


ドライ状態の
判定閾値: 20

ポンプ負荷が変動しても振動データにて軸受のドライ状態を検知可能

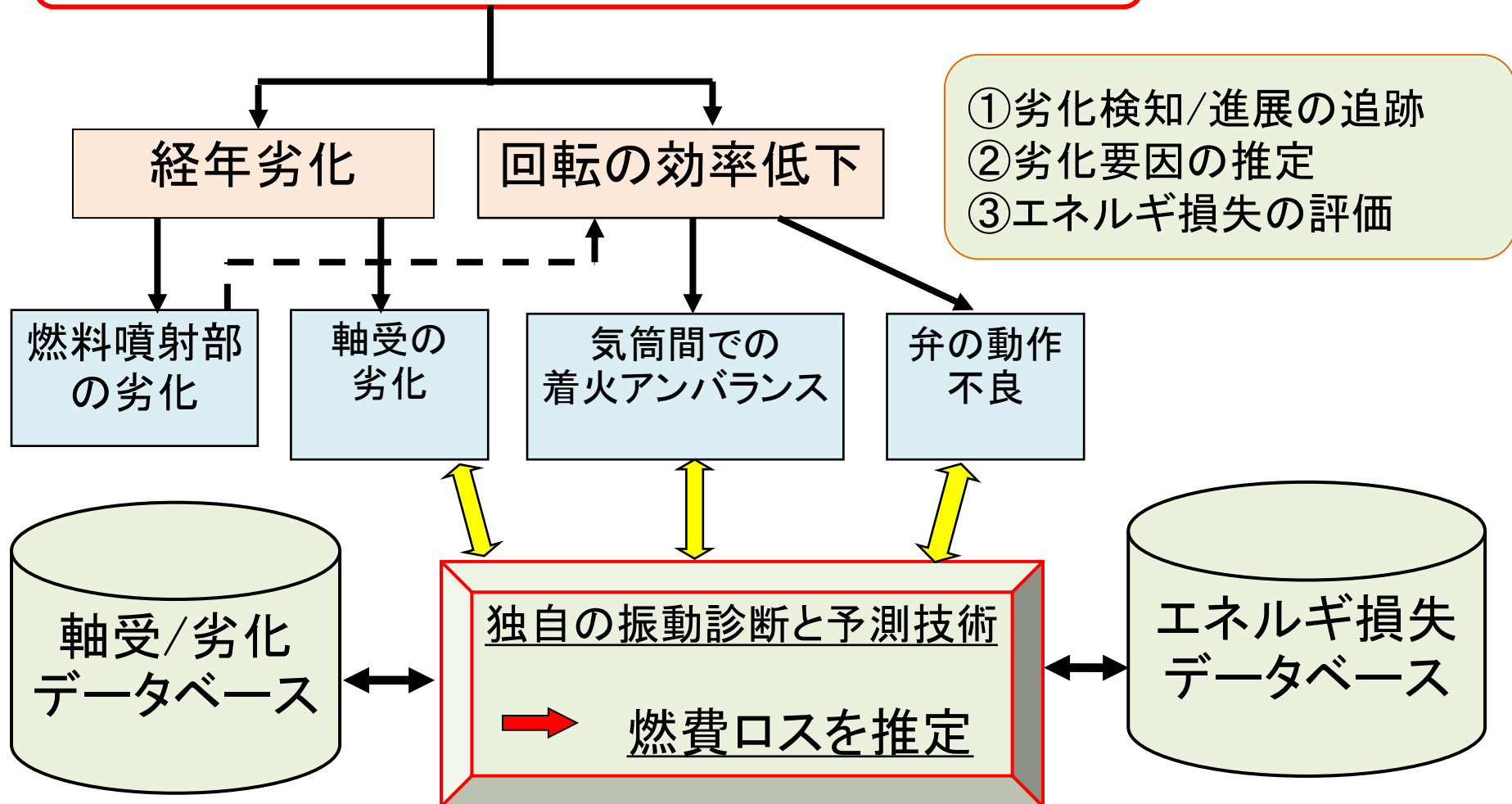
状態監視から効率監視へ

●劣化状態監視から効率監視へ



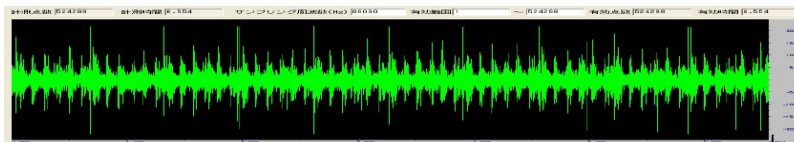
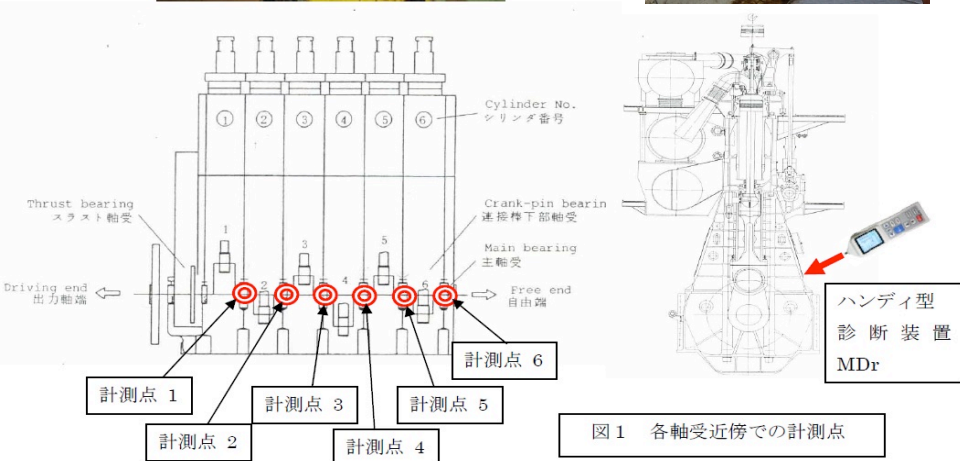
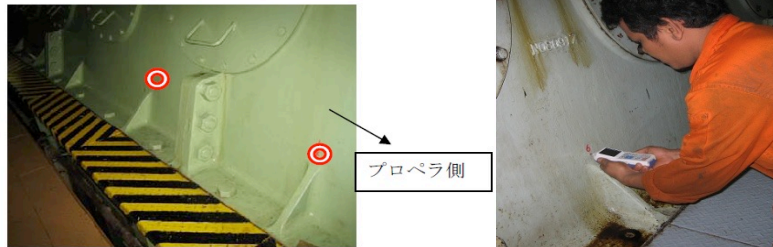
船舶エンジンの燃費ロスを推定

ディーゼルエンジンの燃費ロス（機械的・機構上）

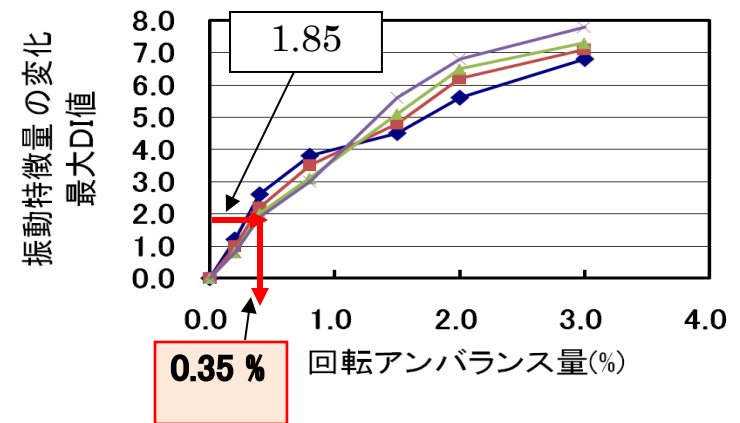


コンテナ船／ディーゼルエンジンへの適用例

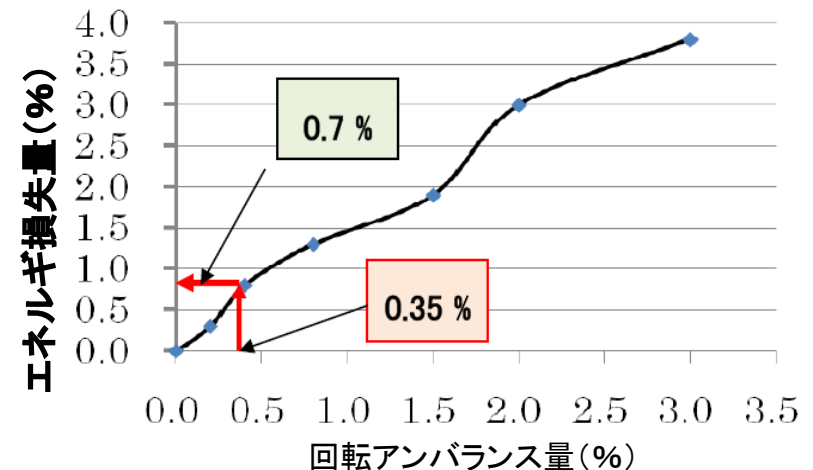
■大型コンテナ船（船舶用ディーゼルエンジン）への適用事例



●振動波形から得たDI値は1.85であった。



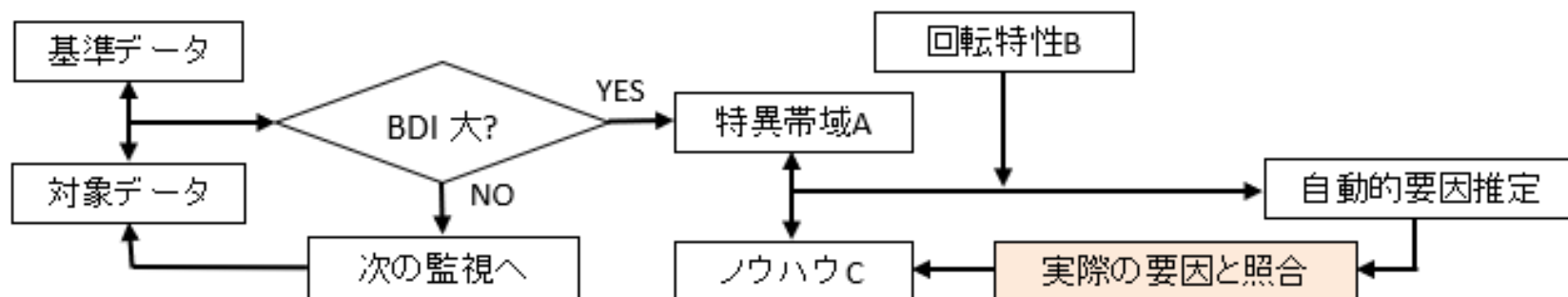
■DI値1.85から回転アンバランス量は0.35% (損傷DB利用)



■回転アンバランス量0.35%から**燃料損失0.7%** (エネルギー損失DB利用)

回転機械の劣化要因の自動推定アプリを開発

1. 自動推定(BDI)アプリを適用した要因ノウハウの更新



2. Nセンター/ 排気ファンでの検証

・専門家(ノウハウ)による判定

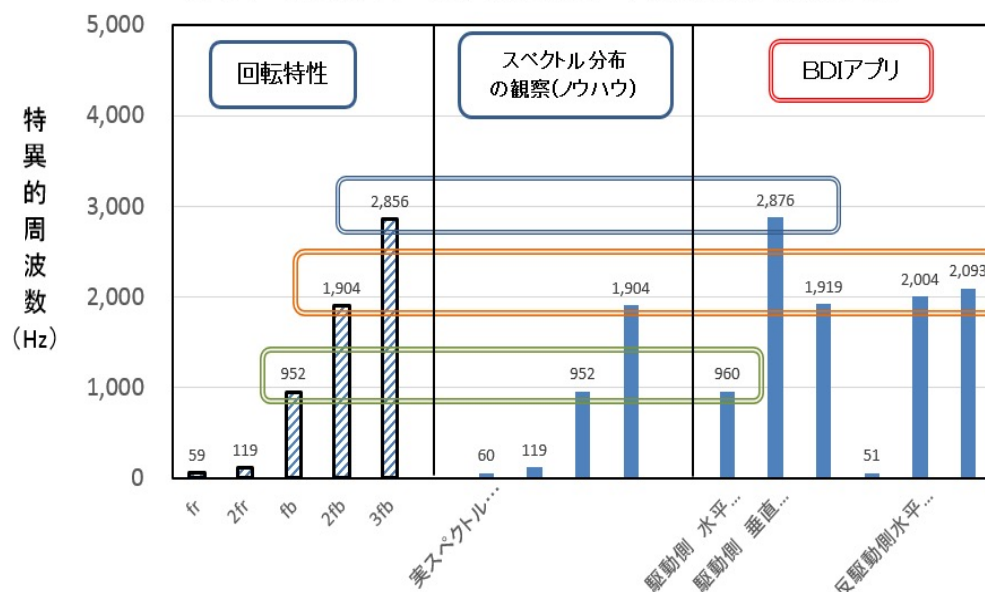
a. ミスアライメントの恐れ

b. インペラもしくは主軸の偏摩耗⇒圧力脈動

・専門家・回転特性・BDIアプリの比較

	①専門家	②回転特性等	③BDIアプリ
a.	59	fr	51~52
a.	119	2fr	960~974
b.	952	fb	1919~1947
b.	1,904	2fb	2,004~2,123
	2,856	3fb	2,876~2,917

回転特性、スペクトル観察、及びBDIによる特異周波数との比較
Nセンター_排気ファン 補修前後でのスペクトル分布の乖離度>3.0



Ⅱ－2. 生産工場／不良検知機能の開発

生産ライン／検査機能達成のセンシング種類

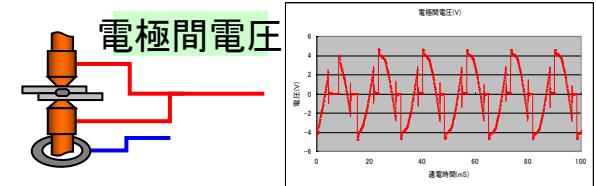
NO	センサーの種類	適用可能性のある劣化事象	事 例
1	加速度	生産機械の主軸回転の不均一や微妙な変動、ワークの加工硬化など性質の異常変化	①穴あけ不良 ②曲げ不足 ③ロール寸法不良 ④切削不良
2	音 響	生産機械およびワークの状態遷移、あるいは劣化が”いつもと違う”音響として発生する事象	①レーザ溶接 ②エンジン失火 ③部分放電
3	AE (超音波)	ワークの亀裂や放電など高周波発生的事象	①プレス加工 ②機密ガス漏れ ③部分放電
4	電流／ 電圧	劣化事象が駆動側へ影響(追従制御)して生じる入力エネルギーの変動など	①スポット溶接 ②抵抗溶接
5	その他	変位、温度、圧力などが有効な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

Ⅱ－2. 生産工場／不良検知機能の開発

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

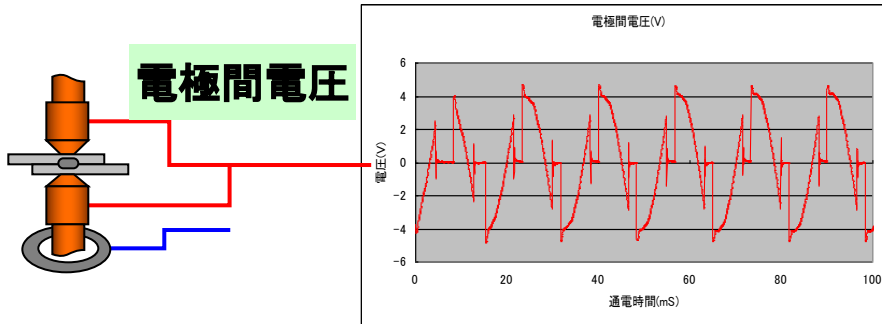
④エアシリンダの動作不良（振動）

エアシリンダの緩みなど故障予知が可能

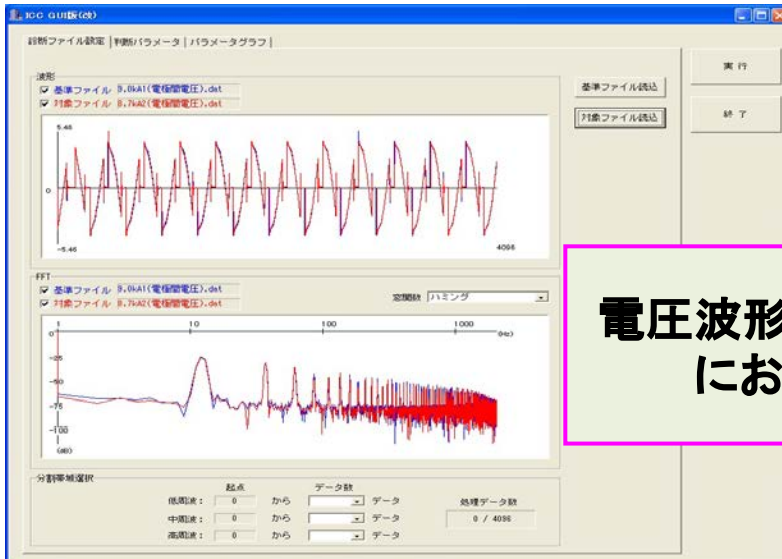
⑤製粉プラント機器（6種類・振動）

精米機・粳摺機・ローラミル等の先手管理（故障予知）が可能

スポット溶接の性能診断の高度化



- ①スポット溶接は、電極状態・加圧力
電流・溶接部温度などの影響が
絡み合っているため精度の良い
診断手法が確立されていない。
- ②電圧波形に溶接性能に
影響する情報が存在する可能性有



電圧波形、周波数分布そのもの
における差異は小さい

溶接性能が良好な場合(青色)と
不良時(赤色)の
電圧波形及び周波数分布

相関抽出法を電圧波形の
特徴抽出・識別に応用

相関抽出法による判定と現物判定との照合結果

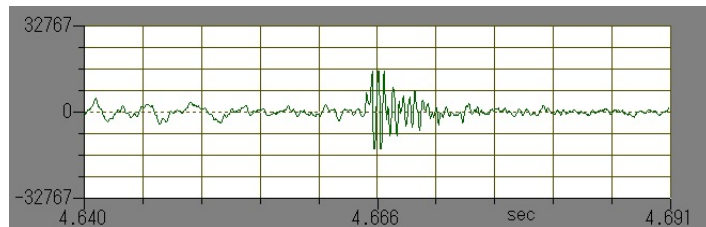
No	シート No	電流 (kA)	加圧力	電極	ナゲット 径	現物 判定	相関法 判定 との 合致	No	シート No	電流 (kA)	加圧力	電極	ナゲット径	現物 判定	相関法 判定 との 合致
1	A11	8.5kA	1.96kN	φ6R	4.6mm	OK	○	16	B11	8.5kA	1.96kN	φ6F	0.0mm	NG	○
2	A12	8.5kA	1.96kN	φ6R	4.3mm	OK	○	17	B12	8.5kA	1.96kN	φ6F	0.0mm	NG	○
3	A13	8.5kA	2.45kN	φ6R	4.0mm	OK	○	18	B13	8.5kA	2.45kN	φ6F	0.0mm	NG	○
4	A14	8.5kA	2.94kN	φ6R	0.0mm	NG	○	19	B14	8.5kA	2.94kN	φ6F	0.0mm	NG	○
5	A15	8.5kA	3.43kN	φ6R	0.0mm	NG	○	20	B15	8.5kA	3.43kN	φ6F	0.0mm	NG	○
6	A21	9.0kA	1.96kN	φ6R	5.5mm	OK	○	21	B21	9.0kA	1.96kN	φ6F	3.7mm	OK	×
7	A22	9.0kA	1.96kN	φ6R	5.0mm	OK	基準	22	B22	9.0kA	1.96kN	φ6F	3.4mm	NG	○
8	A23	9.0kA	2.45kN	φ6R	4.6mm	OK	○	23	B23	9.0kA	2.45kN	φ6F	0.0mm	NG	○
9	A24	9.0kA	2.94kN	φ6R	3.4mm	NG	○	24	B24	9.0kA	2.94kN	φ6F	0.0mm	NG	○
10	A25	9.0kA	3.43kN	φ6R	0.0mm	NG	○	25	B25	9.0kA	3.43kN	φ6F	0.0mm	NG	○
11	A31	9.5kA	1.96kN	φ6R	5.4mm	OK	○	26	B31	9.5kA	1.96kN	φ6F	4.8mm	OK	○
12	A32	9.5kA	1.96kN	φ6R	5.6mm	OK	○	27	B32	9.5kA	1.96kN	φ6F	5.1mm	OK	○
13	A33	9.5kA	2.45kN	φ6R	5.0mm	OK	○	28	B33	9.5kA	2.45kN	φ6F	4.5mm	OK	○
14	A34	9.5kA	2.94kN	φ6R	4.4mm	OK	○	29	B34	9.5kA	2.94kN	φ6F	0.0mm	NG	○
15	A35	9.5kA	3.43kN	φ6R	0.0mm	NG	○	30	B35	9.5kA	3.43kN	φ6F	0.0mm	NG	×

- 相関抽出法による電圧波形の解析により、電流値・加圧力・電極状態の変動に対応したスポット溶接性能の判定が可能である見通しを得た。
- 顧客にて車体溶接の非破壊検査ラインでの現場検証の計画中である。

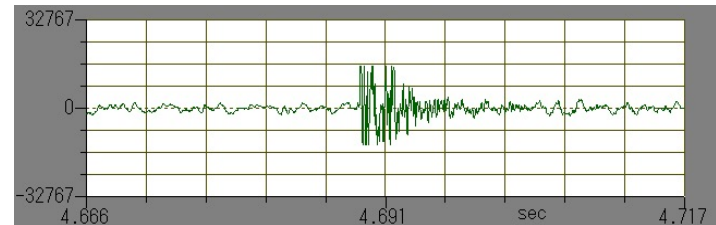
レーザー溶接の性能診断(音響)

- レーザパルス溶接では、溶接時に発生する音響を熟練した施工者が聴音しながら、その溶接性能を定性的に監視している。この溶接性能監視を装置化する。
- 溶接時の時間波形において、正常時と異常時との識別は困難だが、相関抽出法にて識別が可能となった。

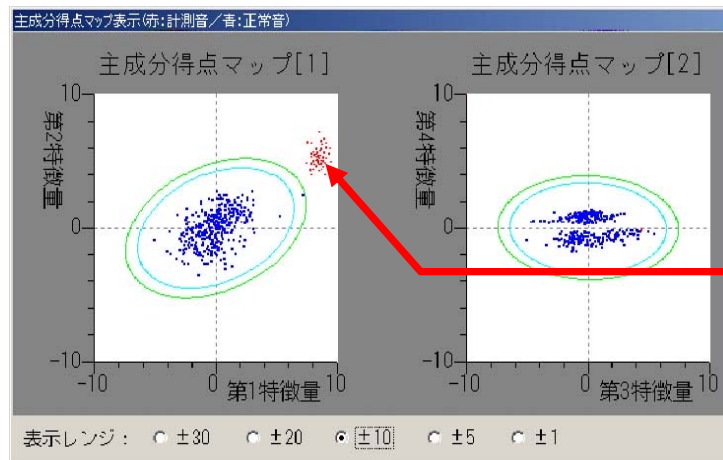
正常溶接時の溶接音波形



溶接不良時の溶接音波形



溶接不良時の識別結果(相関抽出法)



異常要因

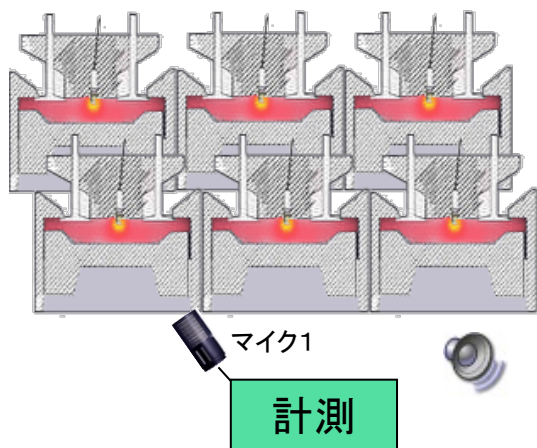
- ①被溶接板の浮き
 - ②重なり
 - ③ズレ
- を検知対象。

青色: 様々な正常時の特徴点
赤色: 今回の検知対象の特徴点

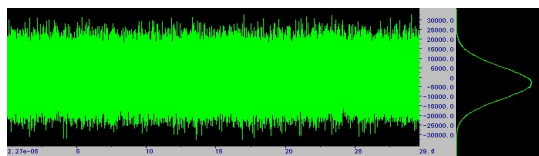
ガスエンジン失火現象の検知例(音響)

6気筒のガスエンジン

全て正常状態



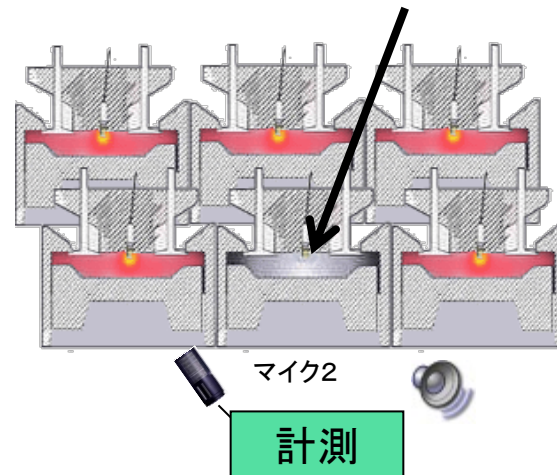
波形@正常時



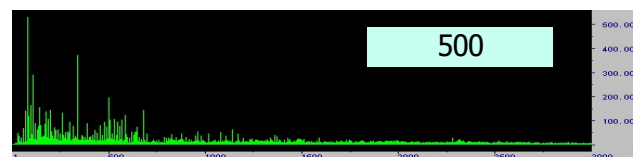
波形 @失火時



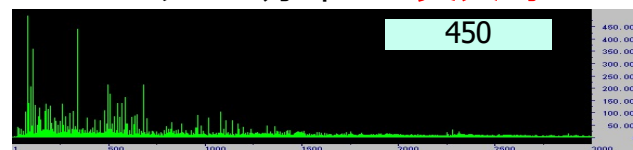
1気筒が失火状態



スペクトル分布 @正常時



スペクトル分布 @失火時



正常時

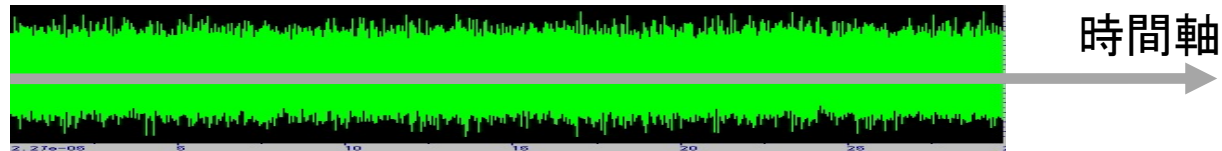
失火時

✓ 波形やスペクトル分布の差が小さく、識別は困難

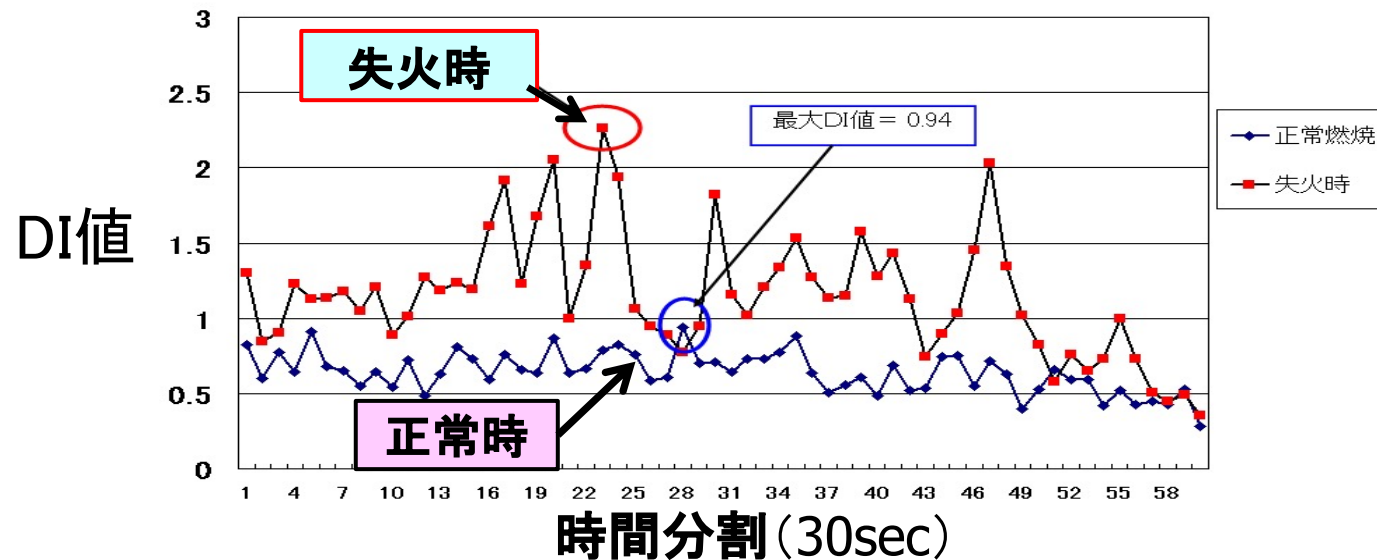
Copy right is reserved by Extranet Systems Inc.

ガスエンジン失火現象の検知例(音響)

■ 相関抽出法による解析結果



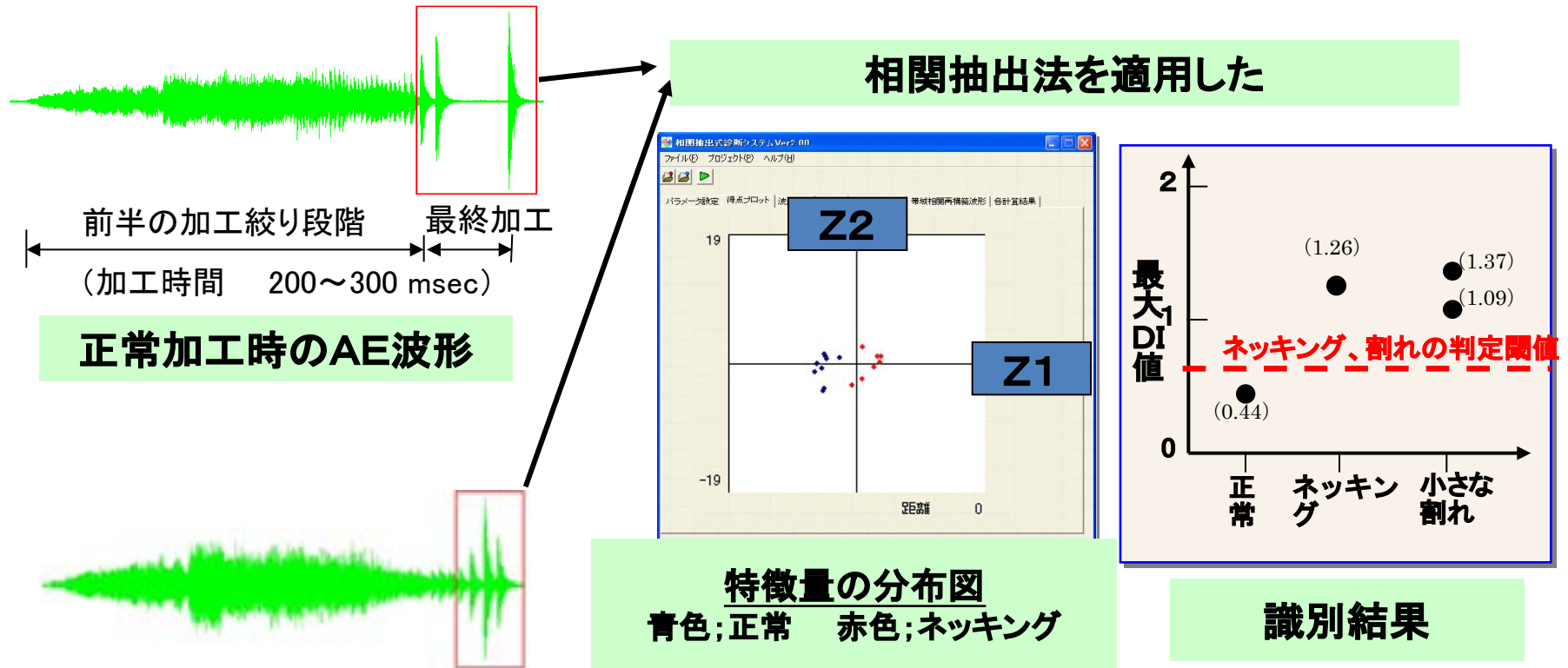
音響によるガスエンジンの失火検知 ダイナミック相関抽出法による識別
2048_20個 50_5000Hz 1/3オクターブ分割 61分割(30秒間)



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

プレス加工時の製品への亀裂発生を検知

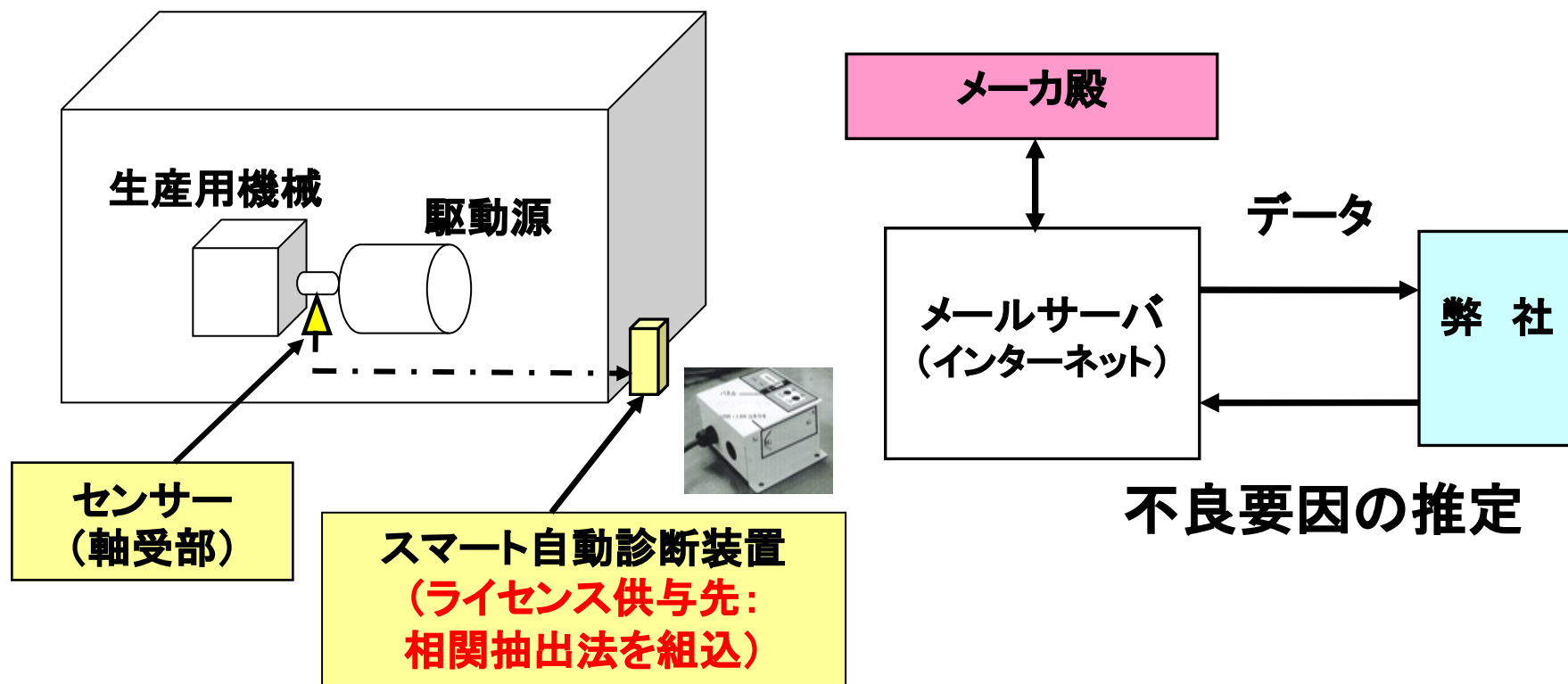
金型にAEセンサーを取付けて加工時に製品に発生する亀裂等を検知する。



加工時に発生したネッキングのAE波形

相関抽出法により金型加工時のネッキングや亀裂の発生を検知できる見通しを得た。

加工・組立ライン／検査自動化の仕組み (振動による場合)



- スマート自動診断装置にて**良否判定**を行い、黄色ランプ表示が出たら、**警報発令**、赤ランプにて**ライン停止等**の処置

特許・診断ノウハウ/ライセンス供与の事例

1. ライセンシー: 機械メーカー

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

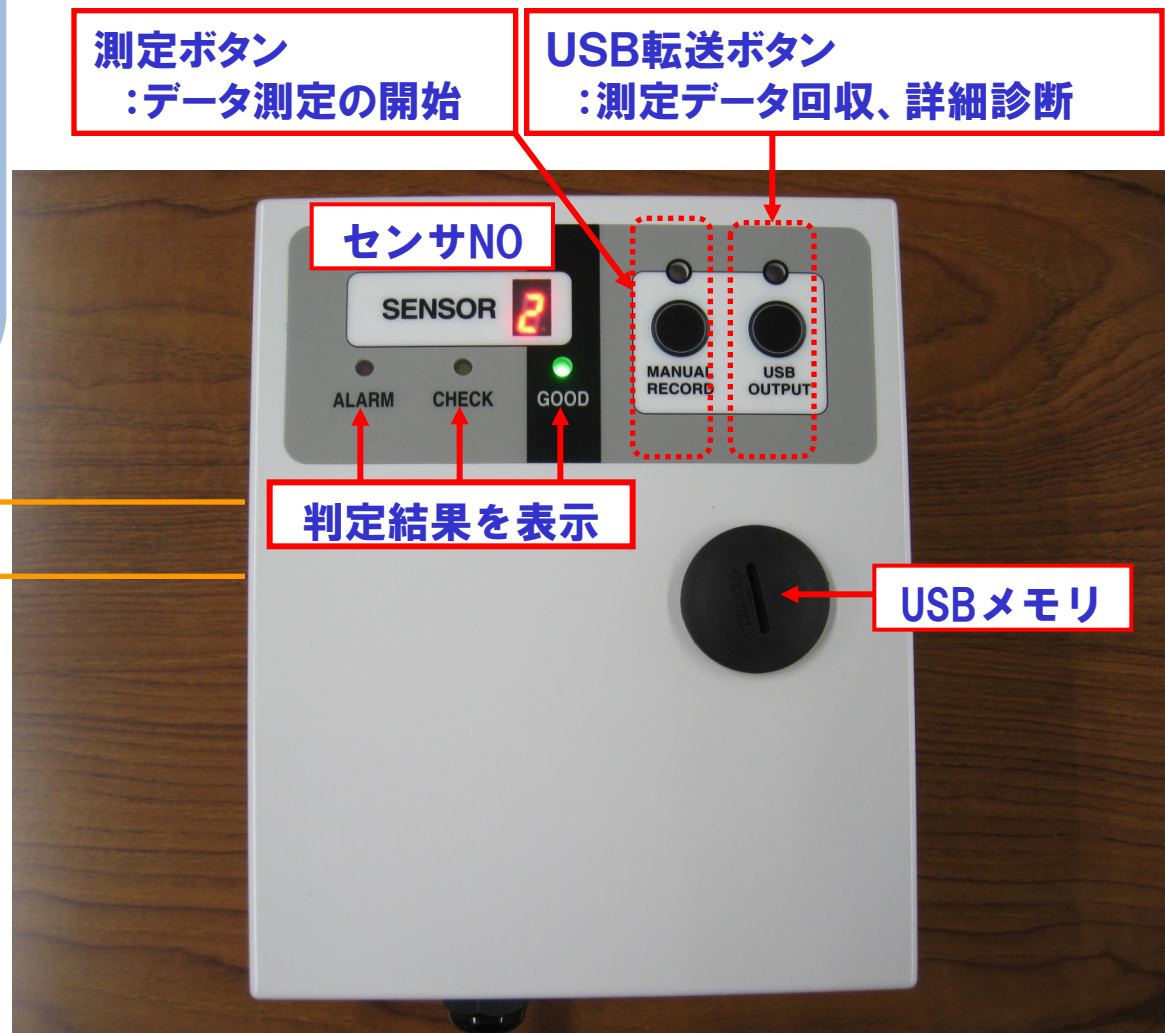
3. 相関抽出法を組み込み

(年間約800台を製造・装着)

最大 8個ヶ 取付可能



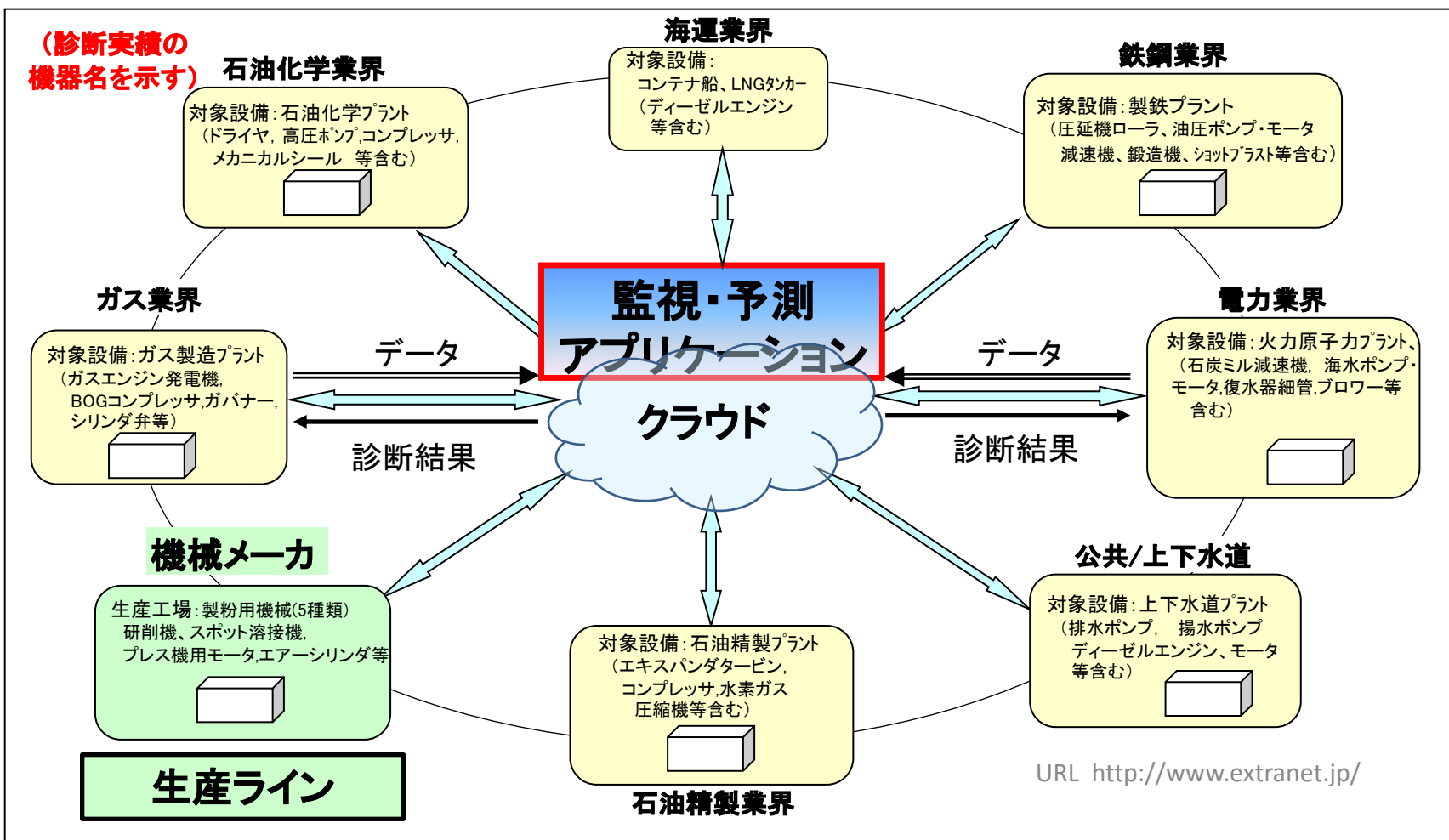
センサ (1ch) センサ (2ch)



生産設備のスマート監視サービス(準備中)

IoTを活用したプラント装置及び生産ラインの監視サービス

監視・予測アプリケーションをクラウドに組み込み、顧客はプラント装置や生産ラインの設備に取り付けたセンサからデータをクラウドへ送り、診断結果を受け取る。**従量制課金**



状態監視の高度化⇒環境効率と生産効率を両立

現有技術と各種データベース(劣化度・エネルギー損失) ⇒ 運用の全体最適化
【現有: 1. 潜在異常の早期検知 2. 状態予測 3. 原因推定】+運用方案の最適化

プラント装置 (主システム系・回転機械)

高経年設備・部位が散在、運転とメンテの統合、
ライフサイクルシナリオの数が増大⇒**運用の全体最適化**

CPS(Cyber Physical System)とメンテ情報
傾向監視: 異常度判定・状態予測・運用最適化等

主システム系

- A. 投入原材料の適正化
- B. エネルギー損失の削減
- C. 設備・部品の延命
- D. 商品の品質維持・向上

回転機械

- A. 軸受潤滑性・軸ズレ管理⇒延命
- B. 回転効率の維持
- C. 流動効率の維持

- 1. プロセスや周辺機器の**異常リスクの低減**
- 2. プラント性能低下・回転機械劣化を検知&要因推定、処置⇒**効率維持・設計条件改良**

生産ライン(加工・組立)

部品・製品が多岐・多品種・製造条件の変更が頻繁

機械・部品
センシング

CPSと生産情報
データ分析・予測・判定等

加工状態の
遷移・比較

加工条件の
最適化

潜在欠陥
の検知

不良率の
低減

塑性変形の
進展の推移

工具・治具
磨耗、欠損

環境効率・生産効率を両立

直接・間接的CO2排出量/エネルギーの損失量
/投入原材料を考慮した**運用の全体最適化**