

# 運用中の機械状態監視診断技術 の最前線

東芝原子力エンジニアリングサービス 株式会社  
渡部 幸夫

2014年10月3日 (金)



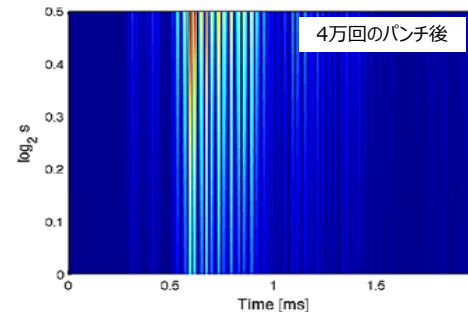
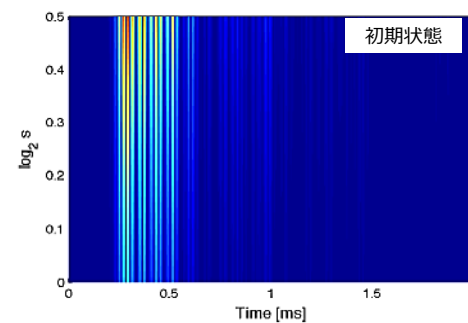
## 目次

1. 音響/振動診断
  - ・ウェーブレット変換による特徴周波数検知
  - ・音響インテンシティによる発生音位置の特定
  - ・音響粒子速度計測による周波数分析
2. A E 診断
  - ・低速回転がり軸受診断
  - ・タンクの腐食診断
3. 超音波診断
  - ・超音波振動計による診断
  - ・超音波アレイマイクによるリーク位置推定
  - ・開口合成法による表面温度計測
  - ・接触面の面圧による透過率
  - ・空中伝搬超音波センサによる透過率
  - ・光ファイバドップラーによるひずみ計測
4. レーザーによる診断
  - ・光ファイバドップラー効果
  - ・ガスの吸光現象
  - ・蛍光法による自然光下での油漏洩検知
5. 渦流探傷
6. 電流診断
  - ・モータ本体の診断
  - ・負荷側機器のインバータ駆動電流による診断
7. 磁束診断
  - ・軸受偏心/ローター/軸曲がり/軸受クリーブ
8. 赤外線診断
9. 原因分析
  - ・無線センサによる監視
  - ・効率診断
10. 劣化予測

## 1. 音響/振動診断

音の種類	診断方法	診断対象	運用状況
可聴音 20Hz~ 20KHz	打撃による発生音の周波数分析 ゆるみによる固有振動数低下	人体検診、車両/橋脚等の締結部 <sup>5)</sup> 瓦の出荷検査 <sup>6)</sup> /コンクリート剥離 <sup>7)</sup>	車両/橋脚等広範囲の設備
	ウェーブレット変換による特徴周波数検知	エンジン異常 <sup>8)</sup> 歯車装置異常	不具合時の原因究明
	音響インテンシティによる発生音位置の特定	地下上水道管の漏洩箇所 <sup>24)</sup>	起動前のフランジからの漏洩検知
	パラボラマイクロフォンを用いた正常時音減算による逆フィルタ法/騒音波形の統計的波形解析手法	モータ等の回転機械異常 <sup>9)</sup>	モータ等の出荷検査
	音響波プローブによる断層影画法	オフィス室内や屋外の温度分布 <sup>10)</sup>	
	ファイバブラッググレーティングセンサによるひずみ、温度計測	配管減肉監視、起動停止時の疲労累積損傷係数の監視	化学プラント一部
主成分分析による劣化の特徴周波数の検知	転がり軸受劣化 <sup>11)</sup> エスカレーターの診断 <sup>25)</sup> ヘリコプタの状態監視 <sup>26)</sup>	広範囲の設備に適用拡大	
音響粒子速度計測による周波数分析	モータの出荷検査 自動車の車室内騒音対策等	発生源と反射の分別による原因究明	

## 1.1 ウェーブレット解析に基づく工具摩耗状態監視

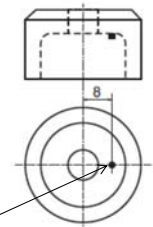


増田新ほかD&D2014,521より

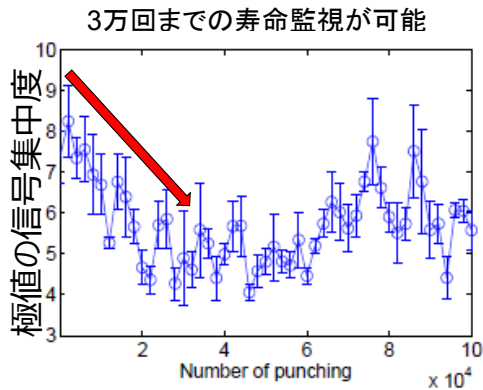
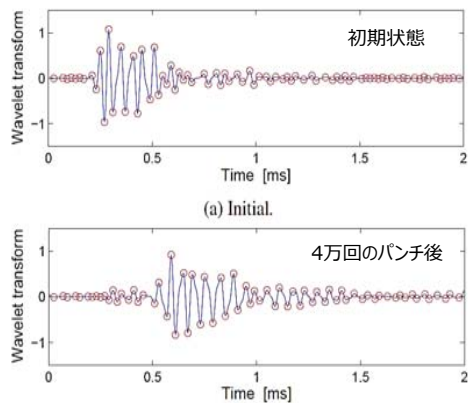


タレットパンチプレス  
冷間圧延鋼板SPCC 板厚1.6mm

パンチ外径: 4mm  
ダイ内径: 4.25mm



加速度計

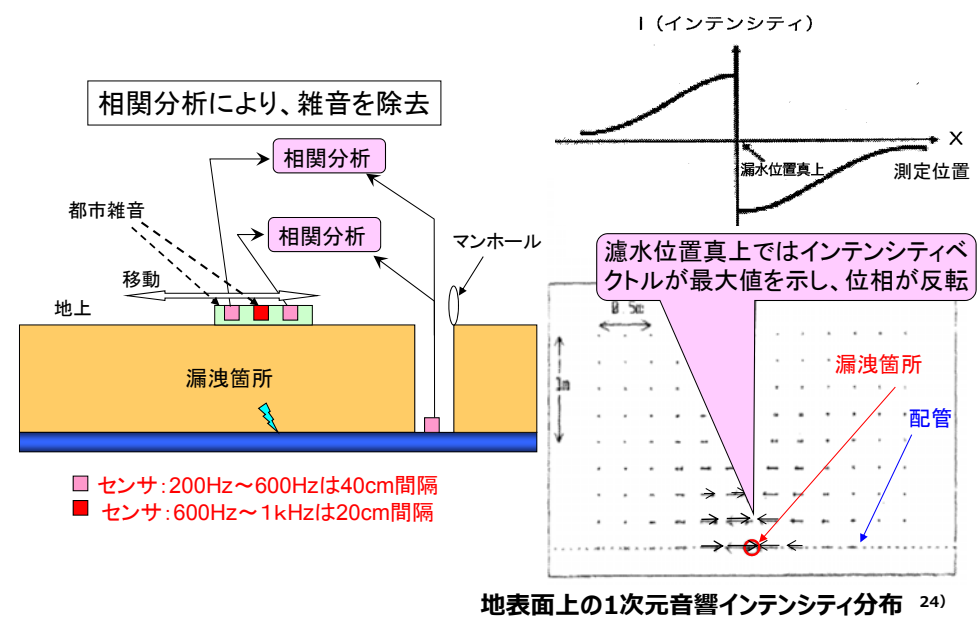


工具の寿命とともに極値の分布の集中度が悪くなっている

3次スプライン補間の4倍の処理が最も有効であった

最適な診断パラメータの設定がキーポイント

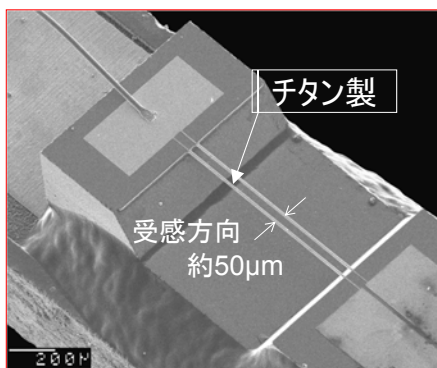
## 1.2 音響インテンシティによる漏水位置の特定



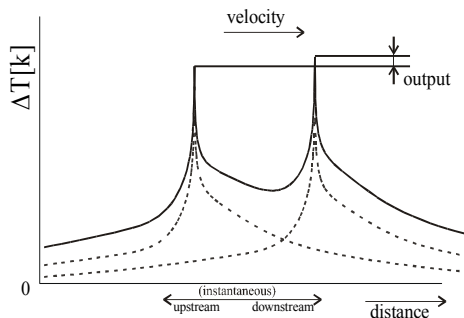
地面上の1次元音響インテンシティ分布 (24)

## 1.3 粒子速度センサによる診断

音響粒子速度プローブ写真



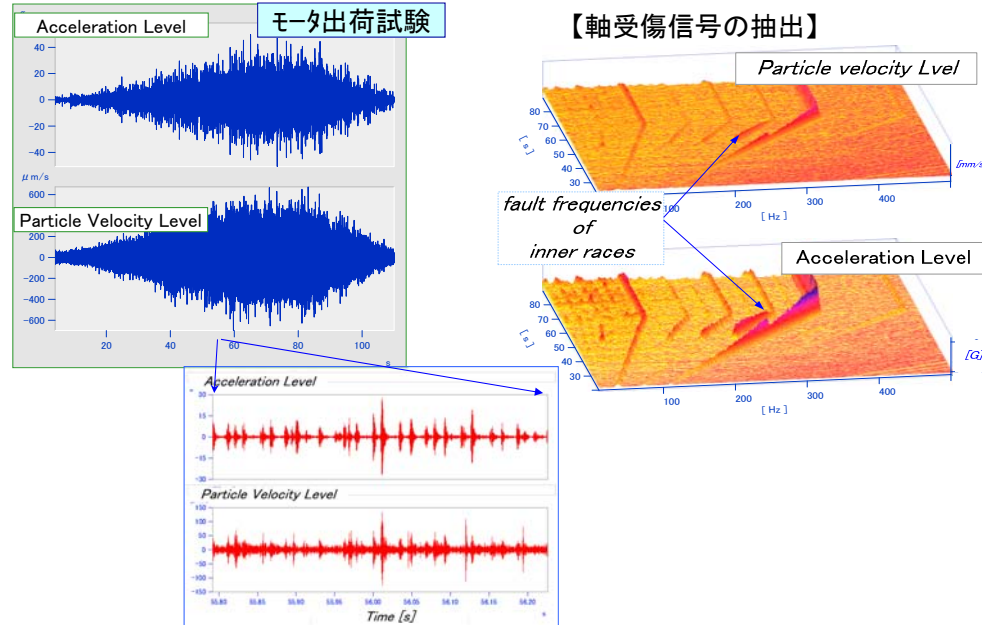
音響粒子速度プローブ受感部の拡大写真



粒子の進行方向により2本の熱線に温度差が生じる。  
粒子速度とその方向を測定。  
入射音と反射音が相殺されるので、振動源からの音を感度高く計測。

## 実機 (モータ) を用いた実験結果

平手利昌ほか: 音響粒子速度センサを用いた軸受振動診断方法, 評価・診断に関するシンポジウム, 156-158(2009)



## 2. AE診断

音の種類	診断方法	診断対象	運用状況
AE 20kHz~ 数MHz	部分放電によるAEの検出回数	モータ/発電機/遮断器/変圧器の絶縁	高圧モータ等適用拡大
	シール部の接触によるAEの検出回数	回転機械のシール部摩耗	火力設備一部
	亀裂/摩耗時に発生するAEの検出回数/AEパラメータで評価	転がり軸受 <sup>12)</sup> /すべり軸受摩耗 <sup>13)</sup>	鉄鋼プラントの低速回転機器
	腐食過程で発生するAEの検出回数	石油タンク腐食 <sup>14)</sup>	化学プラント等のタンク
	スケールの衝突時に発生するAEの検出回数	蒸気/ガスタービン翼摩耗 <sup>15)</sup>	発電設備一部

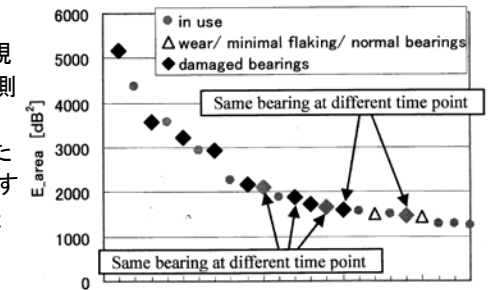
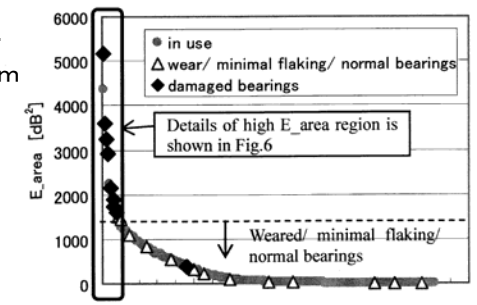
## 2.1 低速回転転がり軸受診断

軸回転数: 30~90rpm

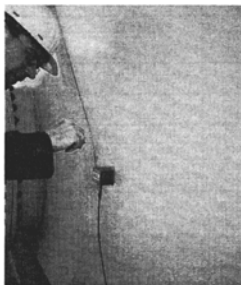
正常時にあるべきAE波形から逸脱した高振幅成分の量をAEパラメータ  $E_{area}$  で評価

概略以下の手順で算出される

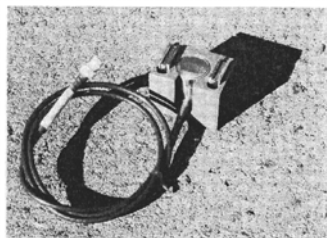
- ① 規定の軸回転分の時間長さのAE検波波形を測定。
- ② AE検波波形の振幅分布を求める。
- ③ 振幅分布の最頻値振幅を求める。
- ④ 最頻値振幅より低振幅側の頻度分布を正規分布で近似し、それを最頻値振幅より高い側に折り返して、仮想正常振幅分布を決定。
- ⑤ 仮想正常振幅分布の頻度に余裕度を乗じた閾値関数を設定し、それを上回る頻度を有する範囲について、最頻値振幅からの相対振幅に基づく振幅重み付き面積を算定。<sup>25)</sup>



## 2.2 タンクの腐食診断



センサのキャリブレーション

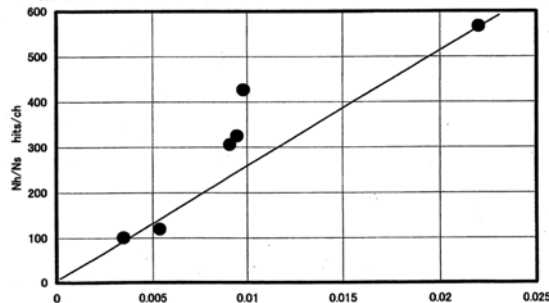


30kHz共振型AEセンサ

表1 AE試験の石油タンク諸元

タンク諸元		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	
		容量 (kl)	11万	32000	943	900	200	12万
内容物		原油	ナフサ	ガソリン	軽油	水	原油	
座機形式		FRT	FRT	CRT	FRT	CRT	FRT	
直径 (m)		81.5	47	12	12	6.7	83.3	
設計板厚 (mm)		21	12	-	6	-	21	
		12	12	8	6	6	12	
内面塗膜		GF	EP	GF	EP	TEP	GF	
使用期間 (年)		15	22	43	31	24	10	
AE計測データ	AEセンサ数 No	21	12	3	3	3	21	
	全データ	ヒット数 No	2530	1211	976	1281	1700	6418
		No./No	120	101	325	427	567	306
板厚データ	最小板厚 $t_{min}$ (mm)	20.4	10.9	-	2.8	-	-	
	$t_{avg}$ (mm)	11.0	11.1	4.9	3.9	0.2	11.9	
	$t_{max}$ (mm)	0.6	1.1	-	3.2	-	-	
	$t_{std}$ (mm)	1.0	0.9	3.1	2.1	5.8	0.1	
板厚データの解析結果	リスク勾配 D	10.88	18.4	5.30	4.6	9.82	7.58	
	代表値 $\langle t \rangle$	0.86	1.4	2.16	1.40	5.20	0.69	
	腐食リスク $\langle t \rangle / D$	0.0805	0.0781	0.4075	0.3043	0.5295	0.0910	
	腐食リスク/年 $\langle t \rangle / D / y$	0.00537	0.00346	0.00948	0.00982	0.0220	0.00910	

板厚 (上段: アニメラ板厚、下段: 底板板厚)



腐食リスクとヒット数の関係<sup>14)</sup>

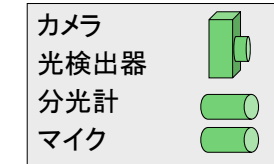
## 3. 超音波診断

### レーザー超音波を利用した診断技術

パルス光レーザー  
連続光レーザー

中赤外帯域 (同3~10 $\mu$ m) に発振波長を持つ量子カスケードレーザー

計測系



形状・距離

- ・超音波振動計
- ・3D レーザースキャナによる現場 3次元認識

透過率

- ・面圧計測
- ・接着力計測

速度・振動

ドプラースhift

反射・散乱

蛍光

赤外放射

超音波

(縦波, 横波, 表面波, ガイド波)

非破壊検査  
(超音波探傷)

温度分布

- 開口合成法による音速計測
- 1000 $^{\circ}$ Cを数 $^{\circ}$ Cの誤差で計測

極微量成分分析

ガス・蒸気リーク

吸収変化

(約500種類)

- ・油漏洩装置
- ・呼気分析装置

ピーニング

脱鋭敏化

酸化皮膜除去

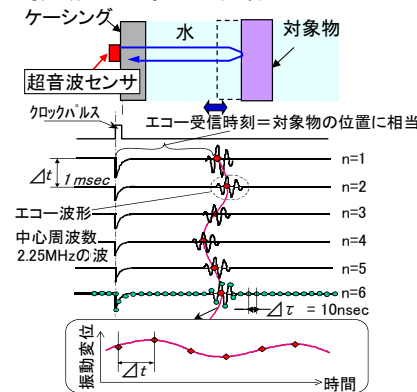
水中レーザー溶接

### 3. 超音波診断

音の種類	診断方法	診断対象	運用状況
超音波 20kHz ~ 300MHz	超音波入射の対象物からの反射波到達時間変化による振動計測	軸受/伝熱管支持部摩耗 <sup>(19, 20)</sup>	縦型ポンプ軸受摩耗監視
	超音波アレイマイクの音の到達時間差	蒸気漏洩箇所	起動前の漏洩検知
	反射波の到達時間計測	板厚/亀裂/対象物形状測定	プラント配管等の亀裂減肉検査
	軸方向/円筒ガイド波入射の透過波の減衰率	配管/配管支持部減肉 <sup>(6)</sup>	化学プラント一部
	速度による透過波/反射波の周波数変化	流速分布 <sup>(1)</sup> /ガス濃度	
	応力/温度の材料密度変化による超音波伝播速度	溶接部の残留応力測定 <sup>(2)</sup> 温度計測	鉄鋼プラント
	クリープによる透過波の減衰率	クリープ損傷 <sup>(3)</sup>	ボイラー設備一部
	レーザー入射による亀裂からの反射波のレーザー振動計測	水中遠隔による亀裂検知 <sup>(4)</sup>	原子炉の炉内機器
	接触面の面圧による透過率	ヒートシールの接着力 転がり軸受の荷重 <sup>(7)</sup> /締結荷重	一般
	空中伝搬超音波センサによる透過率	フィルムの接着検査	リチウム電池
光ファイバドップラーによるひずみ計測	配管の減肉監視 <sup>(27)</sup>	火カプラント	

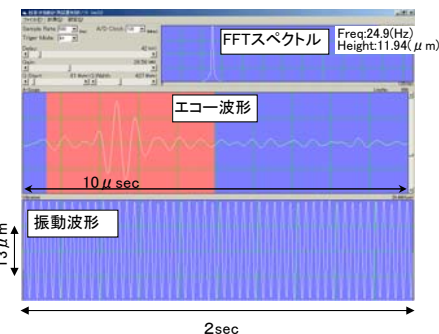
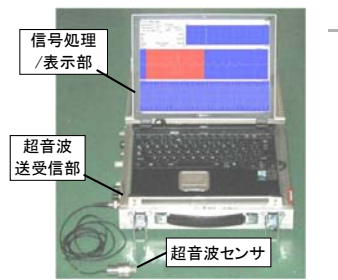
### 3.1 超音波振動計による診断

#### 超音波振動計の原理と仕様<sup>(19, 20)</sup>



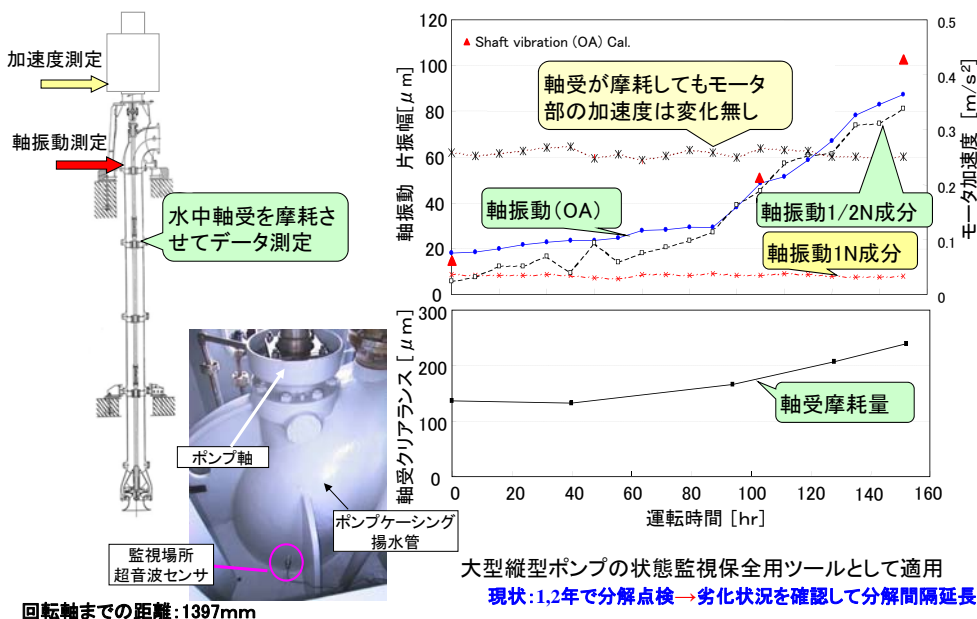
計測範囲	3.8mm*
計測精度	±2.0 μm*
振動周波数範囲	500Hz
超音波センサ	φ 12.5 mm / 2.25MHz
対象までの水中距離	700mm
ケーシング板厚	30mm(鋳物), 160mm(鋼)

\*: サンプル周波数 100 MHzの場合



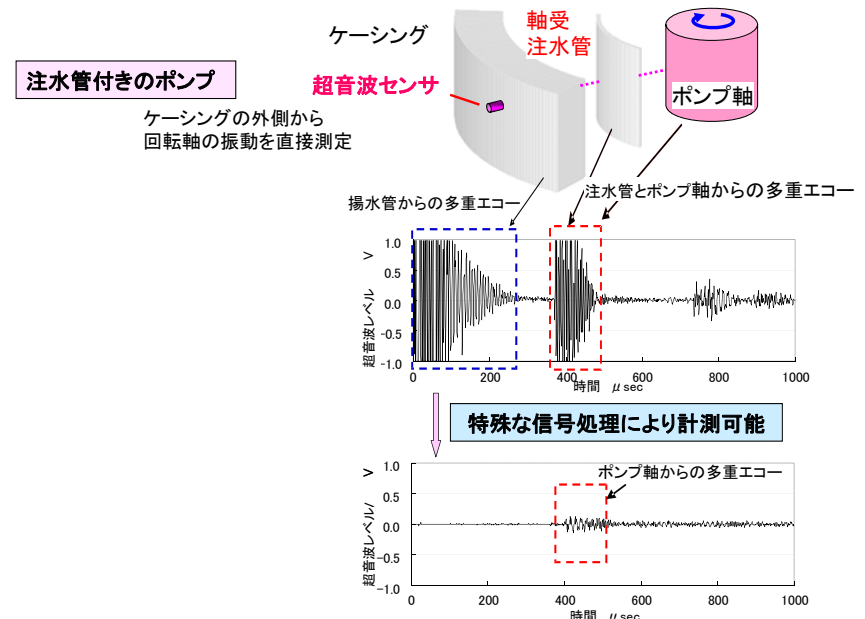
<注> この技術は東京電力(株)殿と共同開発

### ポンプ水中軸受摩耗監視

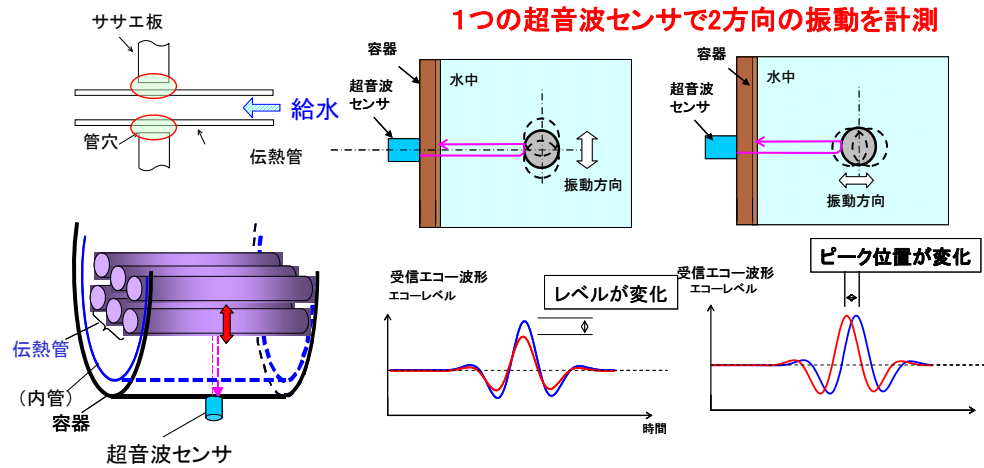


### 注水管内の回転軸振動計測

尾崎健司ほか: 超音波を用いた2重管内の軸振動計測装置の開発, D&D2006, 648(2006)

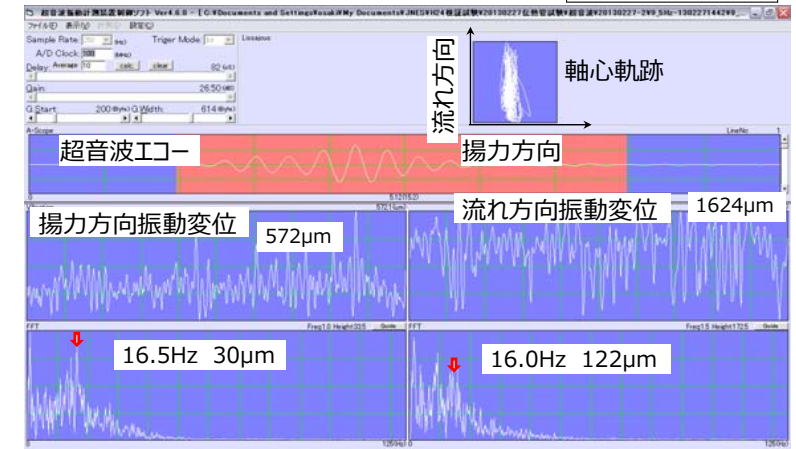


ササエ板の管穴拡大、伝熱管摩耗を容器外側から伝熱管の振動監視により検知する。



伝熱管のアライメントのため、支持条件が変化した場合

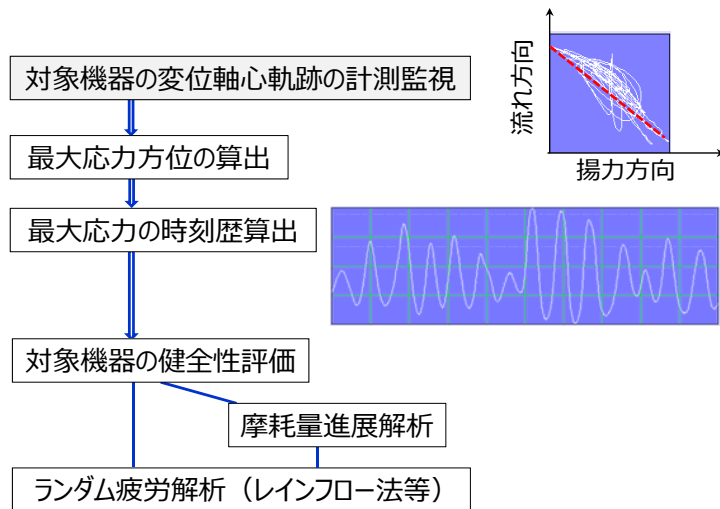
換算流速: Vr = 5.0



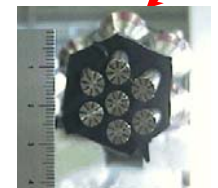
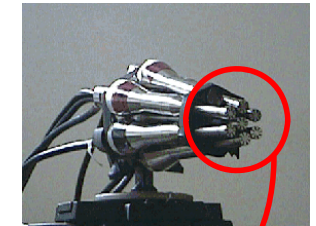
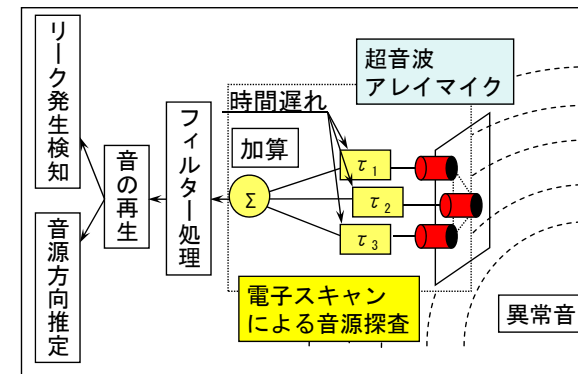
流量変動0.3%のため、流れ方向振動大

状態変化により振動状態が大きく変化するので、変位軸心軌跡の監視が必要

対象機器（ウェル、伝熱管）の健全評価方法

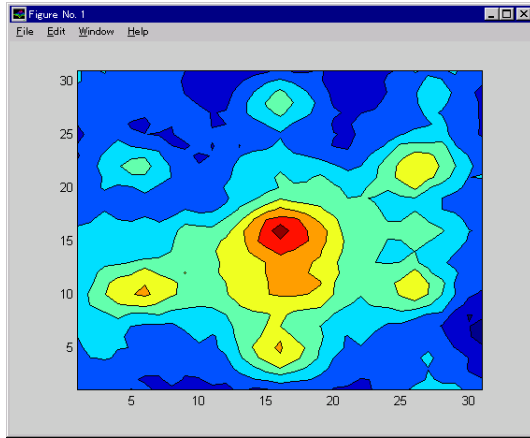
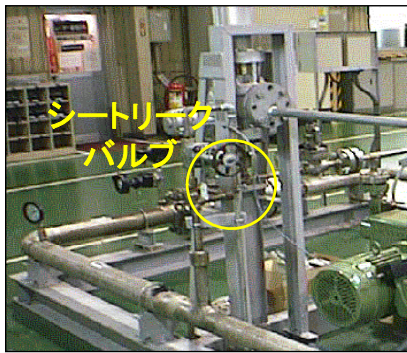


3.2 超音波アレイマイクによるリーク検知



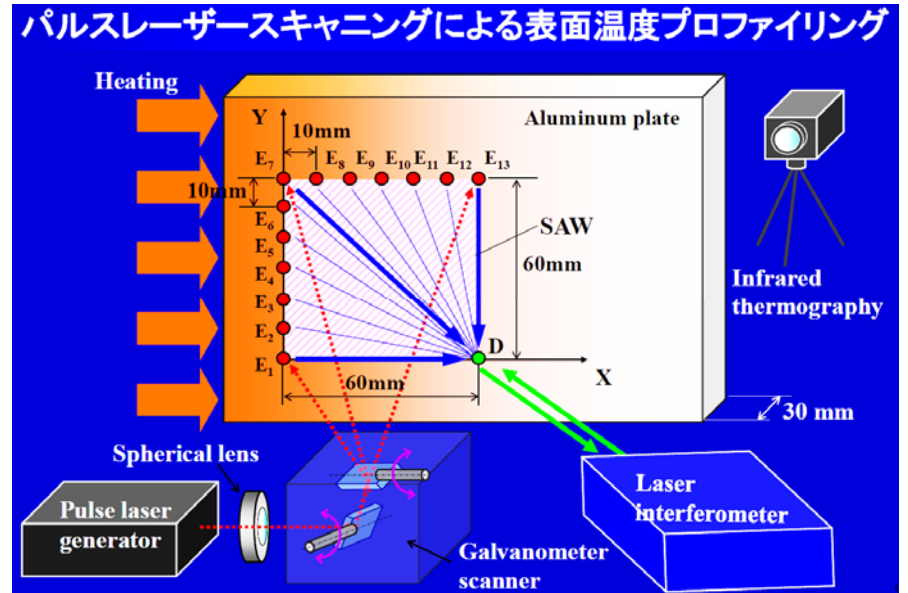
- <特徴>
- ・漏洩・シートリーク等に伴う超音波発生に着目
  - ・アレイマイクによる2次元的な音源方向同定  
→漏洩個所の方向の同定
  - ・シートリークの有無判定

(40-60KHz frequency)

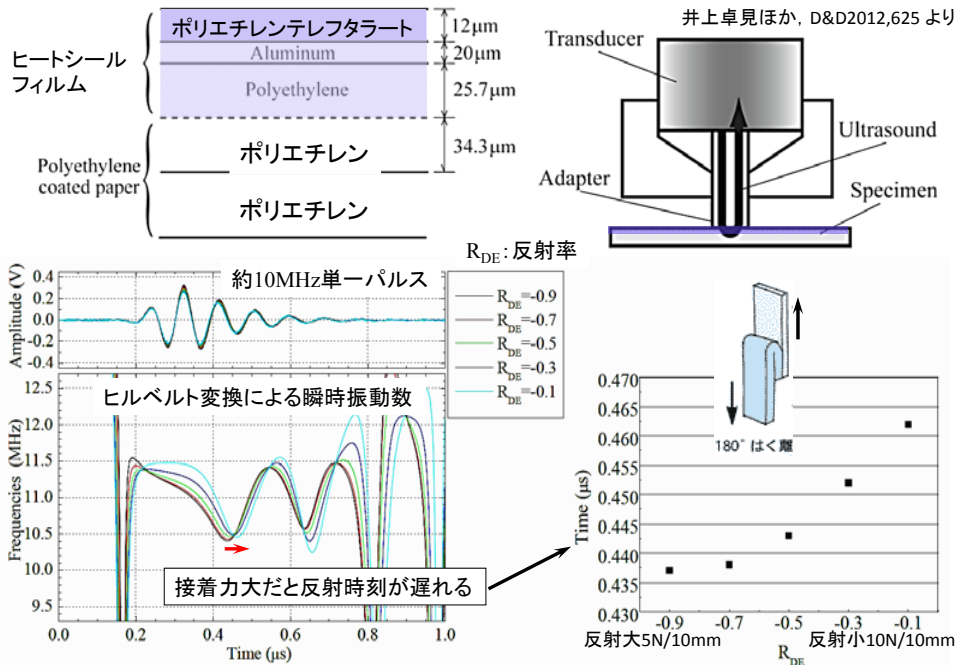


画像イメージ

超音波強度分布



3.4 超音波の瞬時振動数による接着力診断



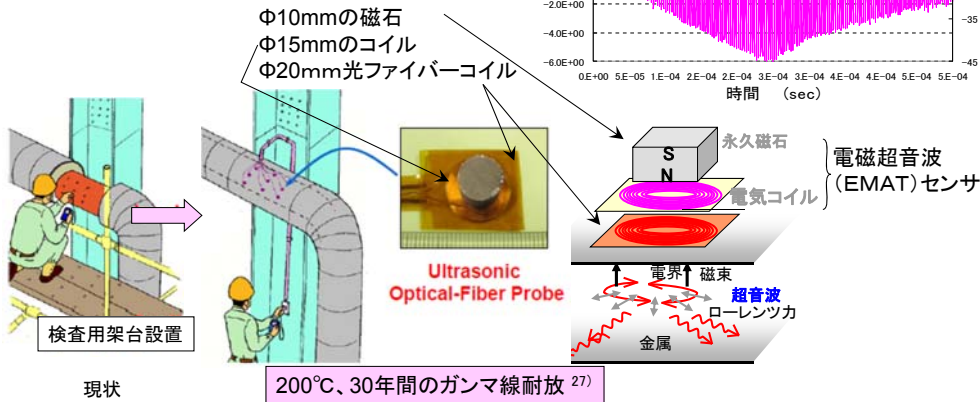
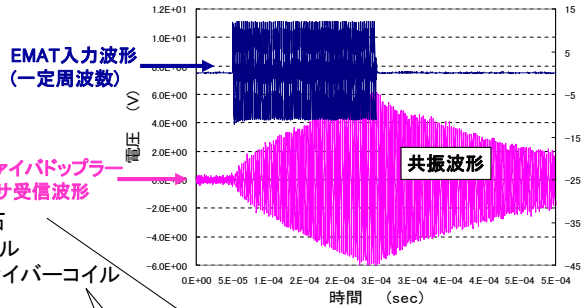
3.5 空中伝搬超音波センサ



### 3.6 電磁超音波入射時の共振現象を利用した配管減肉監視

$$\text{板厚} = n \cdot c / (2 \cdot f_n)$$

- c: 音速
- $f_n$ : 共振周波数
- n: 次数



### 4. レーザーによる診断

音の種類	診断方法	診断対象	運用状況
レーザー	レーザー気化法による極微量成分分析	鋼中*1)	一般
	光ファイバドップラー効果 <sup>27)</sup>	ひずみ、流速	配管減肉検査 エンジン内の流速計測
200~500THz 波長633nm等	ガスの吸光現象	ガス分析/漏洩箇所 <sup>23)</sup> 呼気分析装置	石油プラント等
	蛍光法による自然光下での油漏洩検知		化学プラント一部
	3Dレーザースキャナ	現場3次元認識*2)	原子カプラント、土木建築

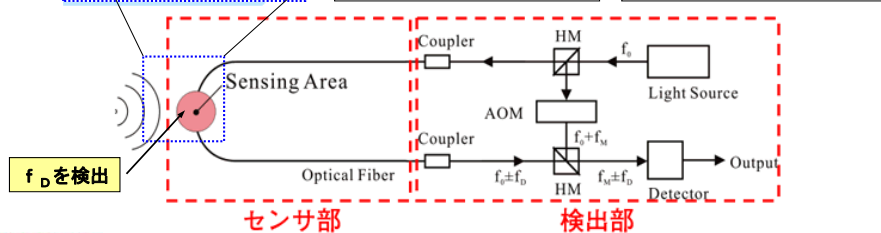
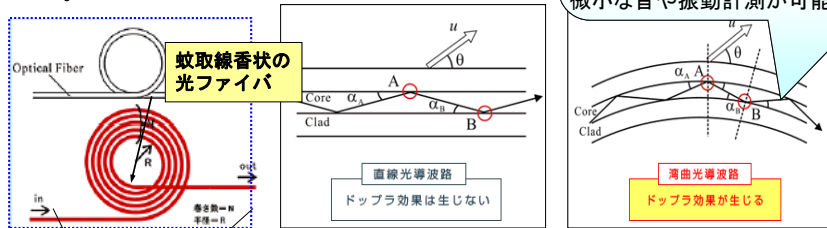
\*1) 石田智治ほか：レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析法による鋼中微量成分の直接分析技術, JFE 技報, 13, 42-47 (2006)  
\*2) 河川裕治ほか：プラント設計・評価のための現場2次元認識システム, 第11回評価・診断に関するシンポジウム, 146-149(2012)

### 4.1 光ファイバドップラー効果を利用したひずみ測定

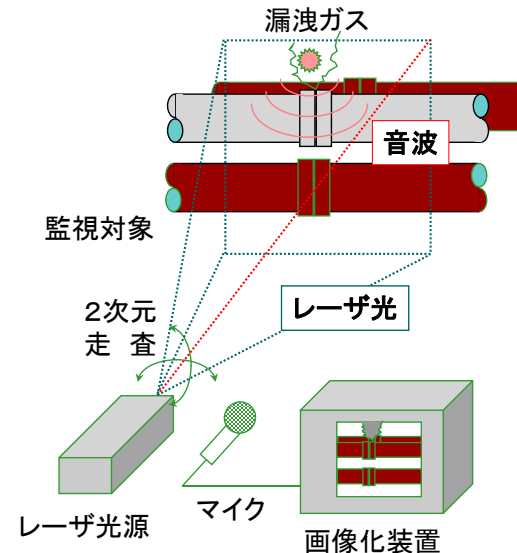
$$f_D = n_{eq} N \pi R_{av} (\epsilon_x + \epsilon_y) / \lambda_0$$

- $f_D$ : 光の波長のズレ
- $n_{eq}$ : ファイバ中の透過屈折率
- N: 巻き数
- $R_{av}$ : 平均巻き径
- $\lambda_0$ : 入射光の波長

材料表面に取り付けた光ファイバ中に光を透過した時、湾曲部でのドップラー効果により波長のズレ( $f_D$ )が生じる。この $f_D$ が材料中に生じた微小なひずみの速度( $\epsilon_x, \epsilon_y$ )に対応し、微小な音や振動計測が可能となる。

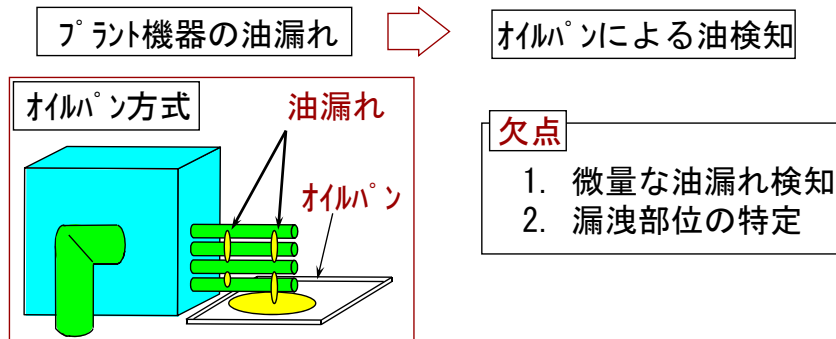


### 4.2 レーザー超音波によるガス検知

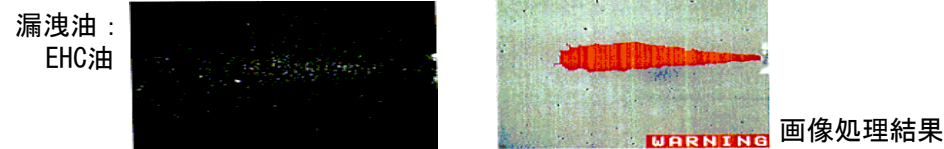
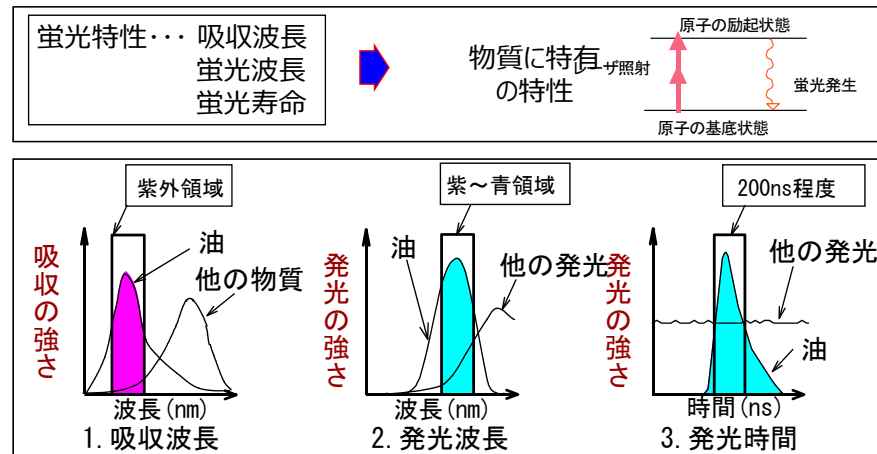


- 特徴**
- 遠隔分布計測  
← レーザー光の2次元走査
  - 高分解能な3次元計測  
← 音速×時間 = 距離
  - 目標ガスにのみ高感度  
← ガスの吸光現象

### 4.3 蛍光法による自然光下での油漏洩検知

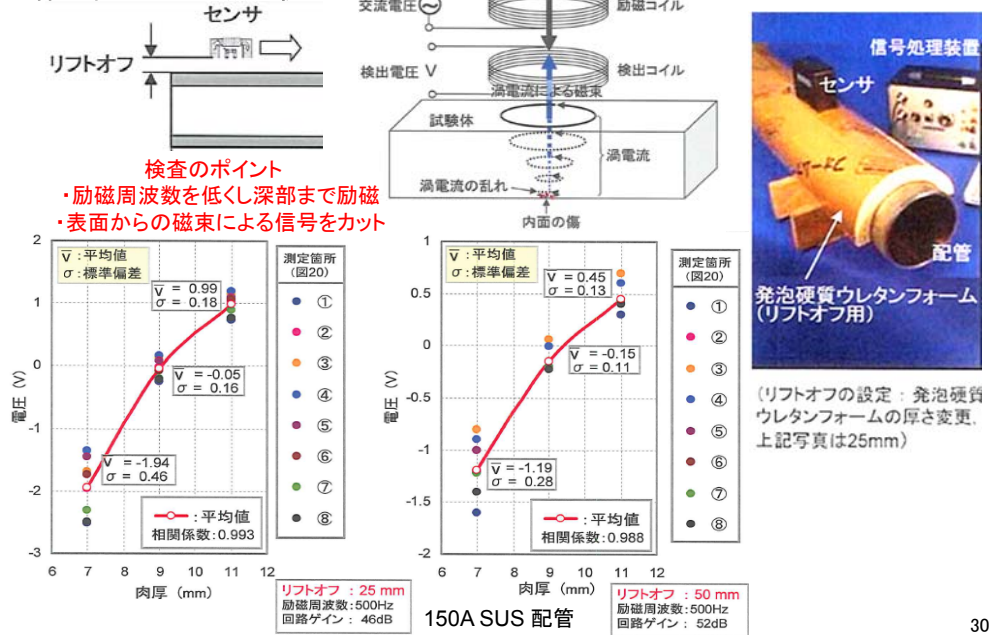


### 蛍光法の原理

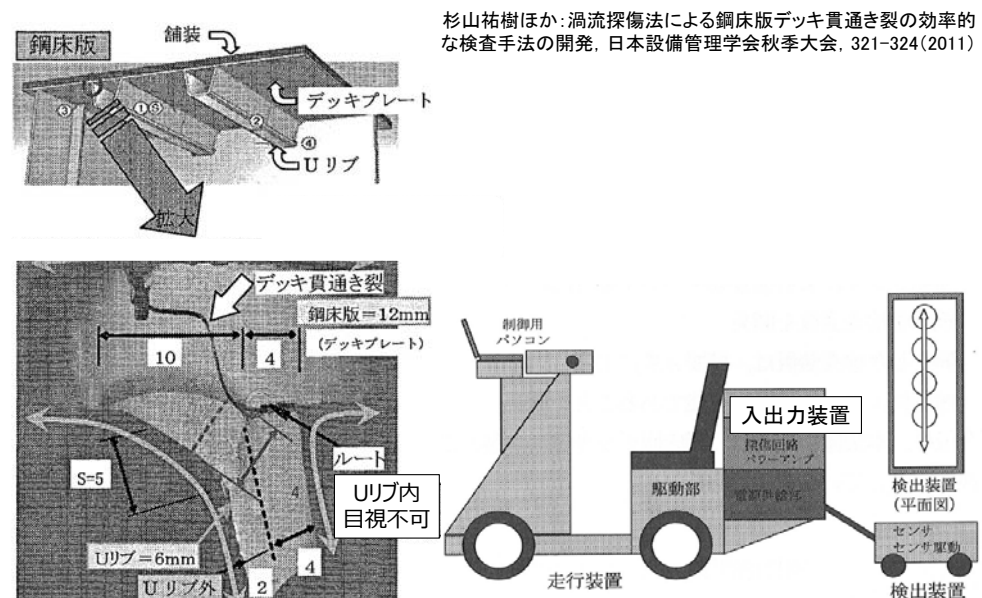


### 5. 渦流探傷

#### 保温材上からの減肉検査



### アスファルト舗装80mm上からのき裂検知





分電盤にて、まとめて簡便に計測診断できる

実効値のみの監視なので初期劣化事象を捉えられ難い

↓ 周波数分析向上

モータ本体の劣化診断

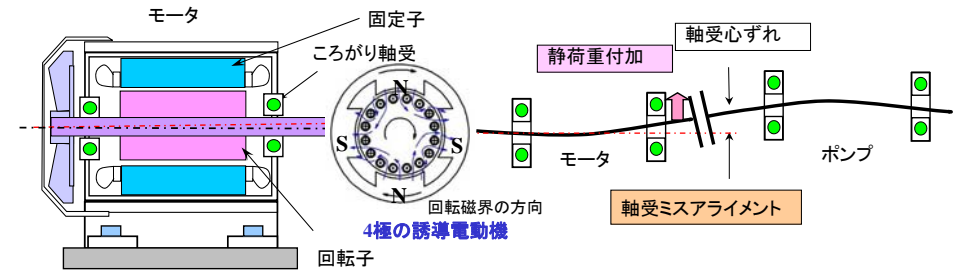
- 回転子バーの破損
- 静的偏心/動的偏心
- 鉄心の破損
- 巻線のゆるみ/短絡
- ミスアライメント/アンバランス
- 基盤ゆるみ
- 軸受の欠陥

負荷側機器の劣化の特徴周波数を監視

電動弁診断は、世界で広く利用されている



クランプ式電流計

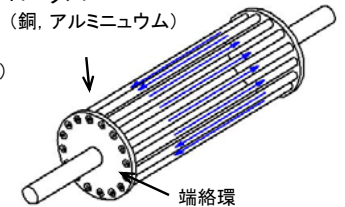


モータの動向 (モータ効率向上のためギャップの狭隘化、高電流/高電圧化)

エアギャップの不均衡

- モータとポンプ等の軸受ミスアライメントによる静荷重発生
  - ⇒ 外輪の引っかき摩耗
  - ⇒ 固定子と回転子とのギャップ寸法不均衡発生
  - ⇒ 電磁騒音発生 (モータ効率向上のためギャップの狭隘化、高電圧化)

ロータバー (銅, アルミニウム)



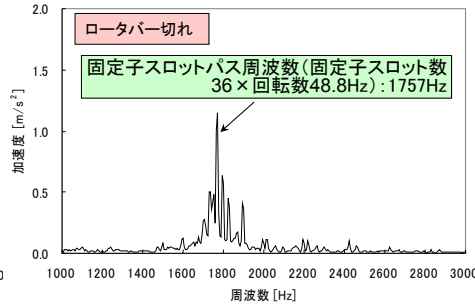
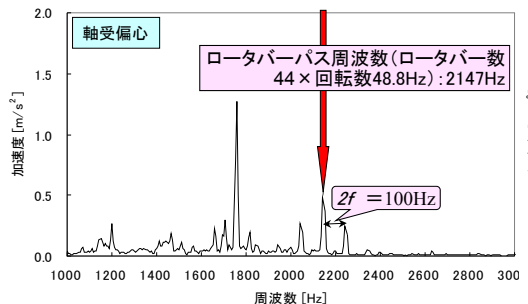
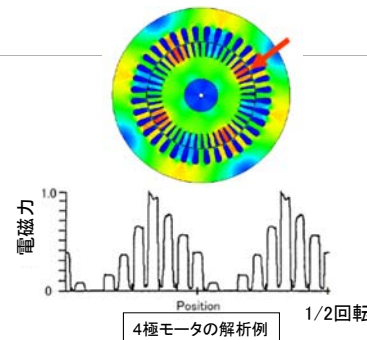
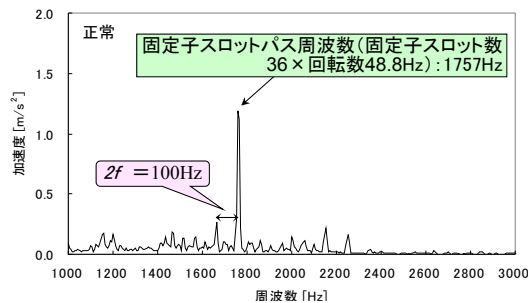
4極の誘導電動機

- 軸受交換時の軸受ホルダーへの異物挟み込み / フレッチングによる軸受外輪取付け偏心
- 軸受交換時の回転軸傷つけ / フレッチングによる軸受内輪取付け偏心

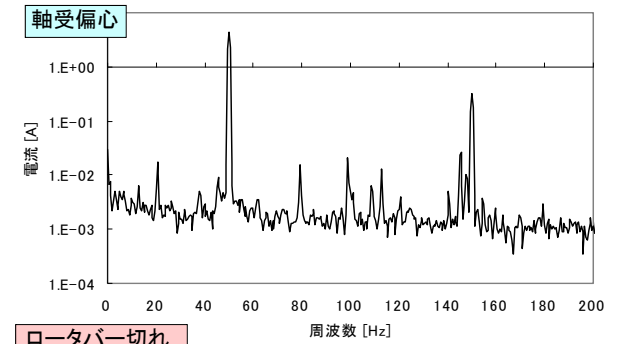
ロータバーの折損

- 高振動条件での使用

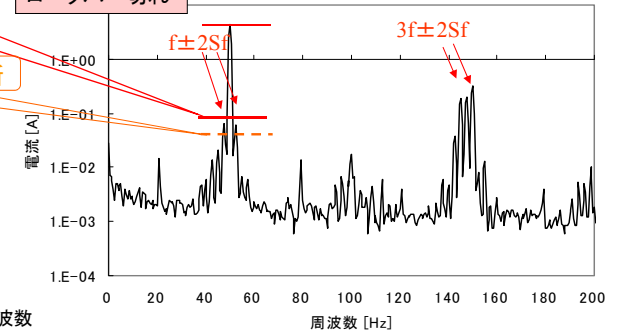
空間高調波電磁力による振動



電流診断結果



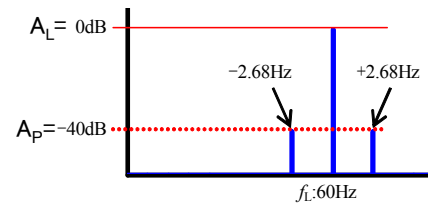
-36dB超えると修理要



-42dB超えるとバー切れと診断

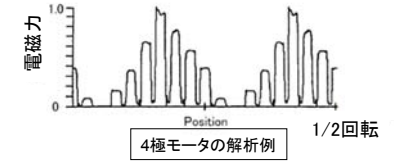
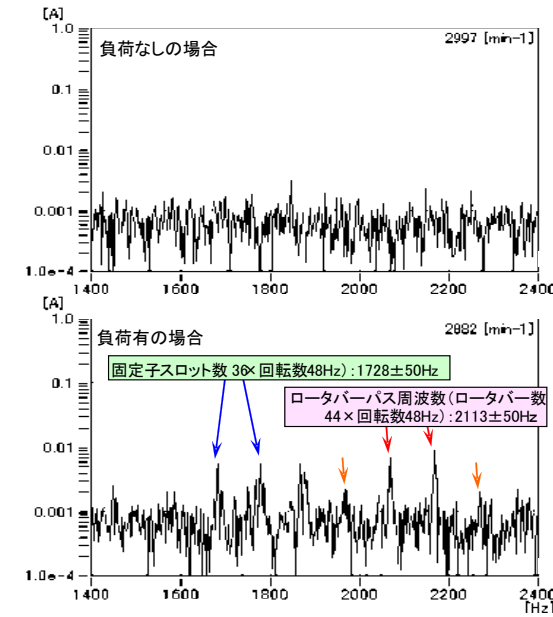
ロータバー切れの不均衡電流  
 = 電磁力 × 電流  
 =  $\cos^2 \omega t \times \cos \omega t$   
 =  $(0.5 + 0.5 \cos 2\omega t) \cos \omega t$   
 =  $0.75 \cos \omega t + 0.25 \cos 3\omega t$   
 $\omega$ : 電源角周波数

## ロータバー破損程度の評価



程度レベル	AL/AP (dB)	回転子の状態評価	推奨する行動
1	>60	最良な状態	なし
2	54-60	良好な状態	なし
3	48-54	穏やかな状態	データの傾向管理
4	42-48	回転子バーに割れがあるか、割れが進展している、あるいは高い抵抗で接続して状態	試験周波数の増加傾向を監視
5	36-42	1つか2つの回転子バーが割れか折損がある状態	電源と損傷程度を検証するために振動測定を行う
6	30-36	複数の回転子バーが割れか折損がある状態	ロータバーを修理
7	<30	複数の回転子バーが割れか折損、あるいは短絡板が破損している状態	ロータバーを修理か交換

## 軸受偏心の場合の電流診断



電磁力の変動による電流変動  
= 電磁力 × 電流

$$= (\cos^2 \omega t \times \cos \omega_r t) \cos \omega t$$

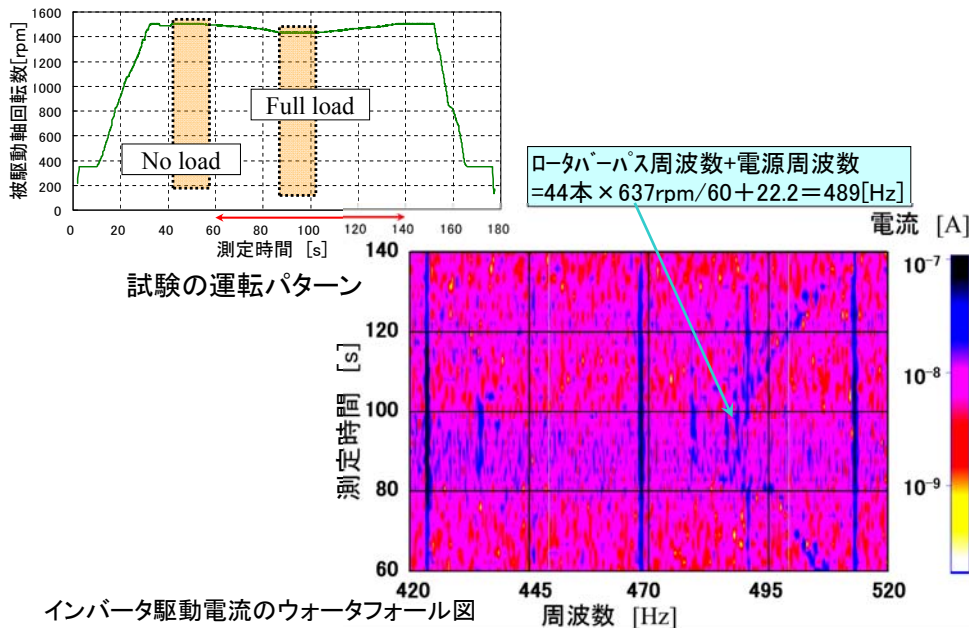
$$= \left( \frac{1}{4} \cos 3\omega t + \frac{3}{4} \cos \omega t \right) \cos \omega_r t$$

$$= \frac{1}{8} [\cos(\omega_r + 3\omega)t + \cos(\omega_r - 3\omega)t]$$

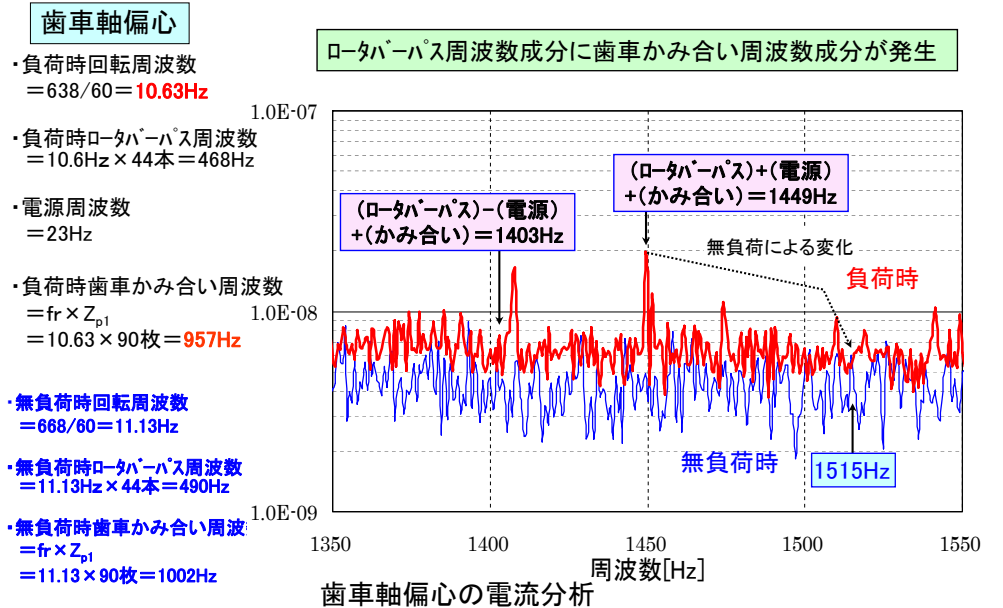
$$+ \frac{3}{8} [\cos(\omega_r + \omega)t + \cos(\omega_r - \omega)t]$$

$\omega$ : 電源角周波数  
 $\omega_r$ : ロータバーパス角周波数

## 6.2 負荷側機器のインバータ駆動電流による診断



## 歯車装置のインバータ駆動電流分析結果



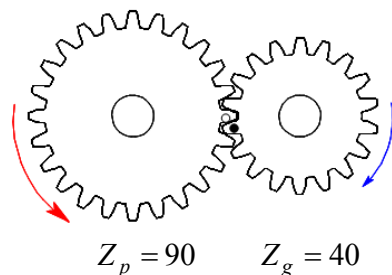
入力軸の回転数: 7.3Hz

乱調振動数:  $f_h = \frac{N \cdot f_m}{Z_p \cdot Z_g}$

異物同士のかみ込みによる1対の歯が出会う周波数

$f_h = \frac{N \times f_m}{Z_p \times Z_g} = \frac{10 \times 7.3 \times 90}{90 \times 40} = 1.8\text{Hz}$

$f_m$ : かみ合い周波数 = 入力軸の回転数 × 歯数



電流は、ロータバース周波数成分が乱調周波数で振幅変調する。

・負荷時回転周波数 = 7.28Hz

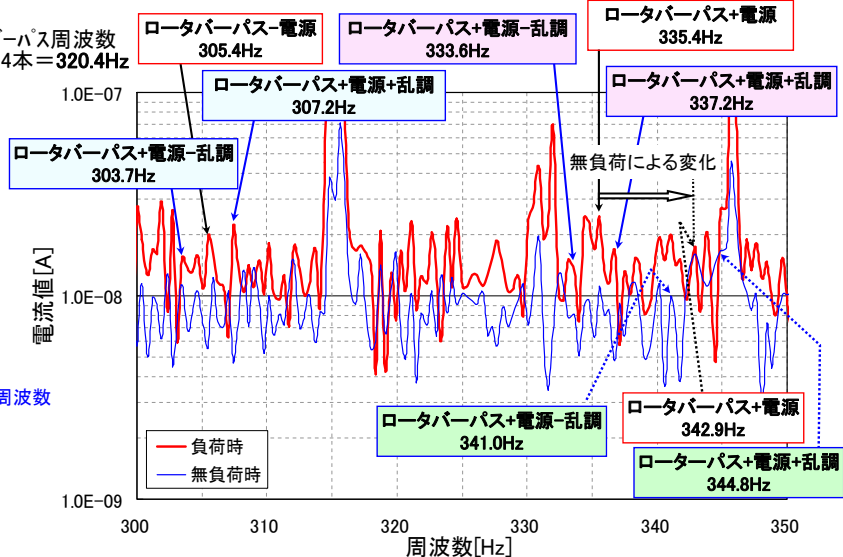
ロータバース周波数成分が乱調周波数で振幅変調

・負荷時ロータバース周波数 = 7.28Hz × 44本 = 320.4Hz

・電源周波数 = 15Hz

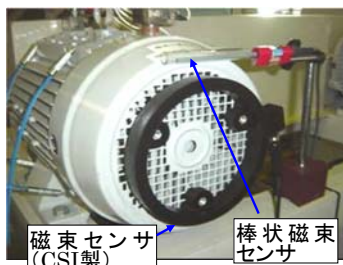
・乱調周波数 = 1.8Hz

・無負荷時回転周波数 = 7.44Hz

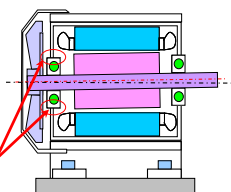


## 7. 磁束診断

- (1) 発電機固定子鉄心絶縁劣化診断・・・鉄心に磁束を形成し故障電流を流して検出する試験
- (2) モータ固定子絶縁診断
- (3) モータ軸受偏心
- (4) ロータバー切れ
- (5) モータ軸曲がり
- (6) モータ軸受の外輪クリーブ

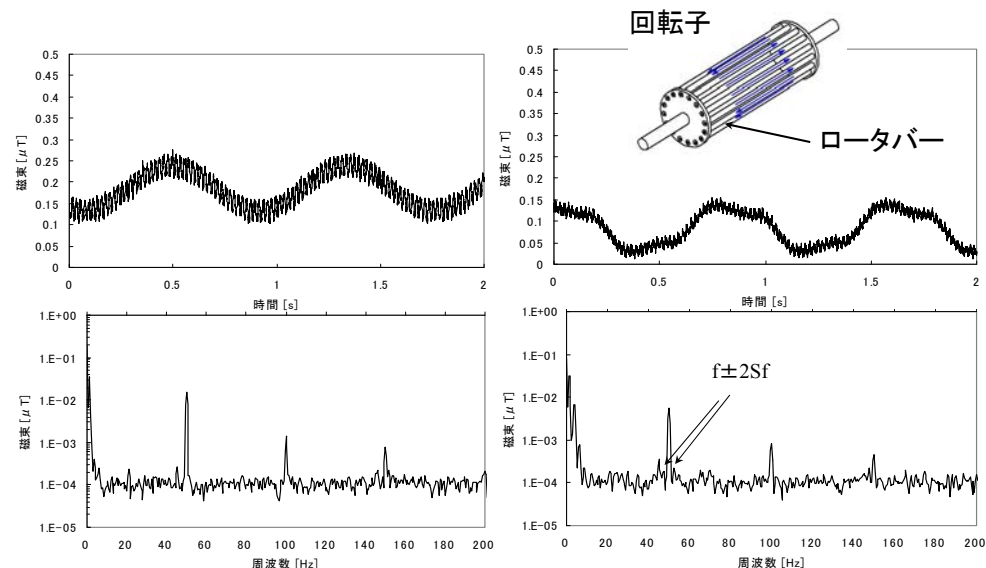


(外輪がハウジング内面を反回転方向に転がる現象)  
1度発生すると、急速にハウジングの摩耗が進展  
→地絡・故障の原因



隙間が広がると発生し易くなる

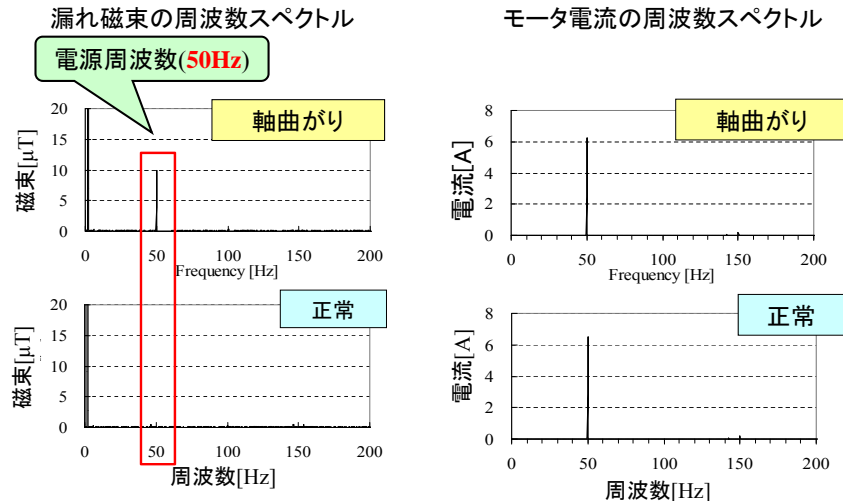
## 漏れ磁束による診断結果<sup>29)</sup>



(3) 軸受偏心

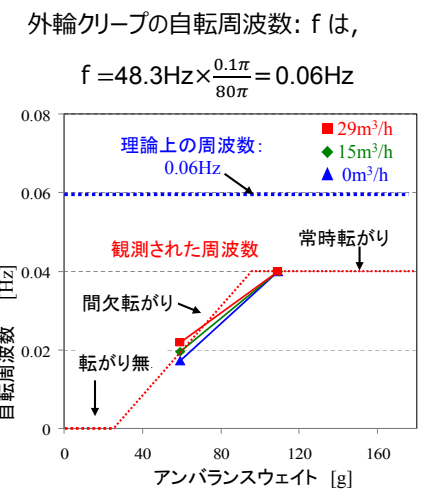
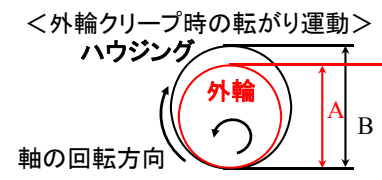
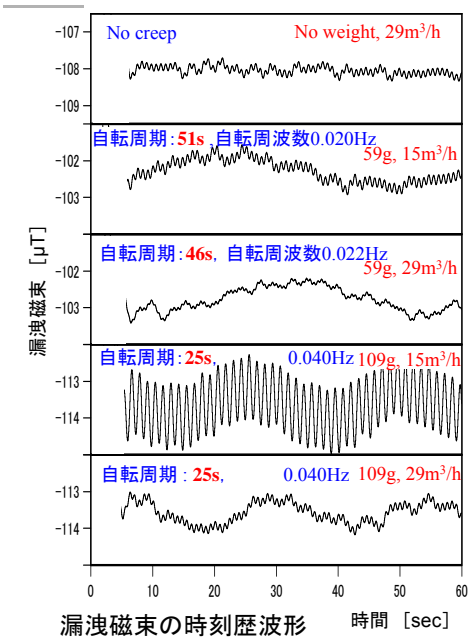
(4) ロータバー切れ

(5) 軸曲がり

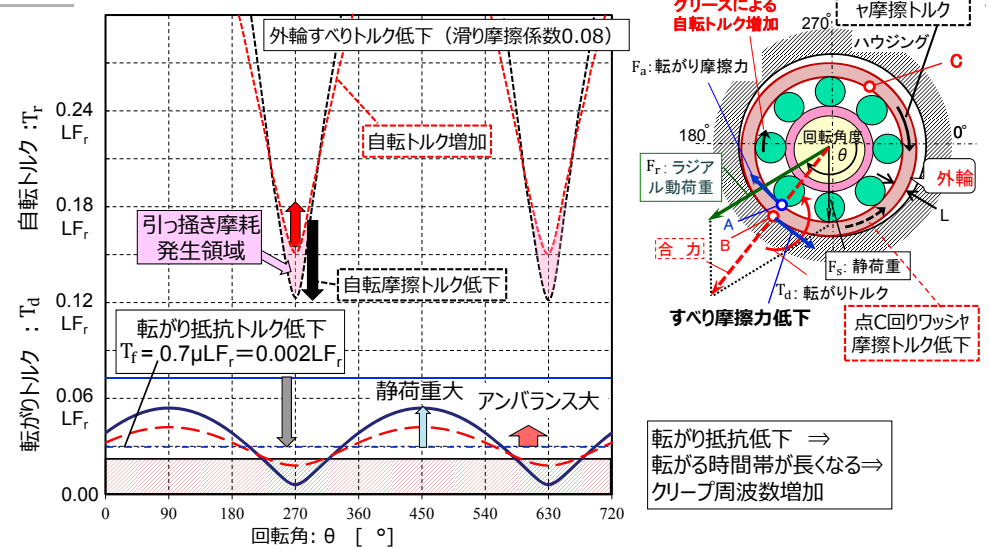


漏れ磁束の高周波領域、及びモータ電流では差異を確認できず

(6) モータ軸受の外輪クリープ



(6) モータ軸受の外輪クリープ

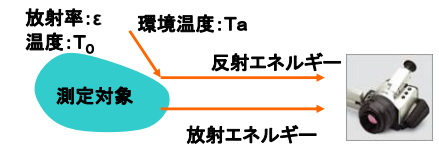


外輪クリープ発生⇒外輪のはめ合い部のすべり摩擦係数低下⇒引っ掻き摩耗が発生⇒回転子が偏心⇒回転子が固定子に接触⇒外輪クリープ発生の磁束診断が必要

8. 赤外熱画像用いた診断

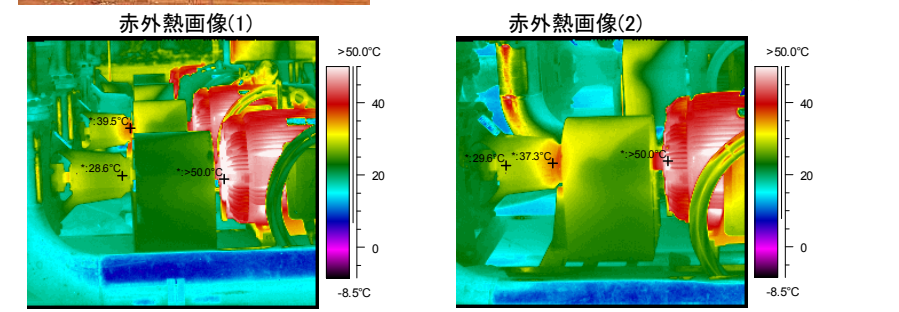
(ISO/DIS18434-1 Fig.C.9より)

① モータ(ベアリング部)

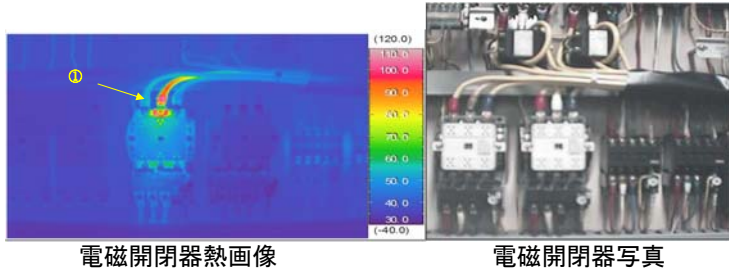


- ① 可視画像では良否の判別できない。
- ② 赤外熱画像では、
  - ・1台目(手前)のポンプ軸受部は温度低く正常
  - ・2台目のポンプ軸受部の温度が高く、調整不良と診断できる。

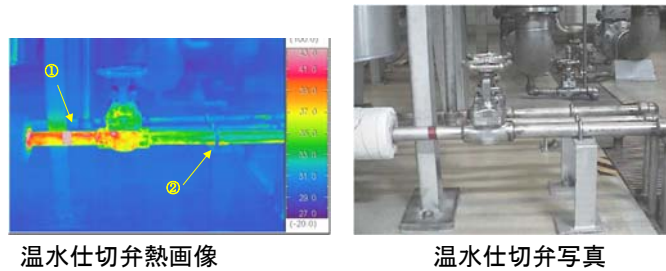
高温又は低温の物体が写りこまない測定位置を選定



## ② 端子のフレッチングによる接触抵抗増加の例



## ③ 温水仕切弁のフレッチングによるシートリーク確認の例



## 9. 原因分析

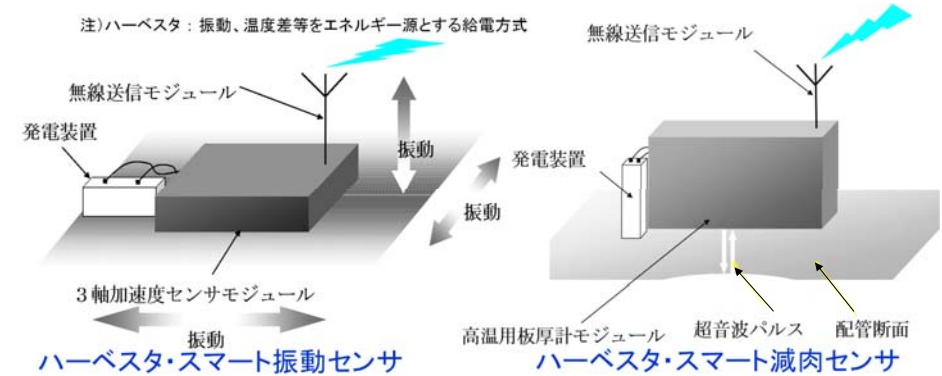
### 9.1 無線センサによる監視 (海外では、適用設備多い)

・圧延機のユニバーサルジョイント/クレーンの監視は広く利用

#### ■ ハーベスタ・スマートセンサ

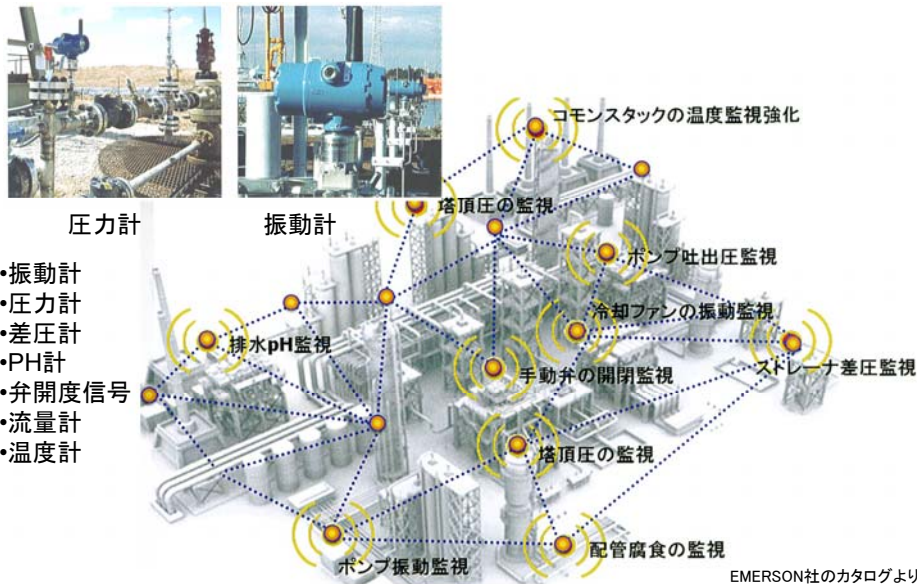
- 外部電源なしで、振動、減肉を24ヶ月以上連続計測
- ⇒ 長期サイクル運転、運転中保全の運転系機器の監視強化に有効
- ⇒ 出力増加後の機器、配管、伝熱管等の健全性確認に有効

注)ハーベスタ：振動、温度差等をエネルギー源とする給電方式



## 化学プラントへの適用状況

海外で使用されている無線センサ(電波が日本より強い)



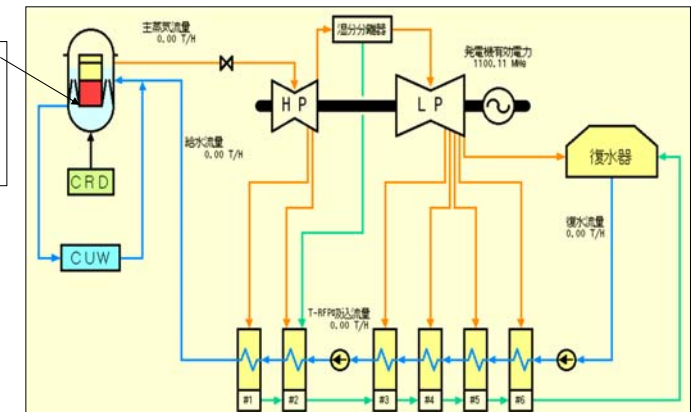
## 9.2 効率診断

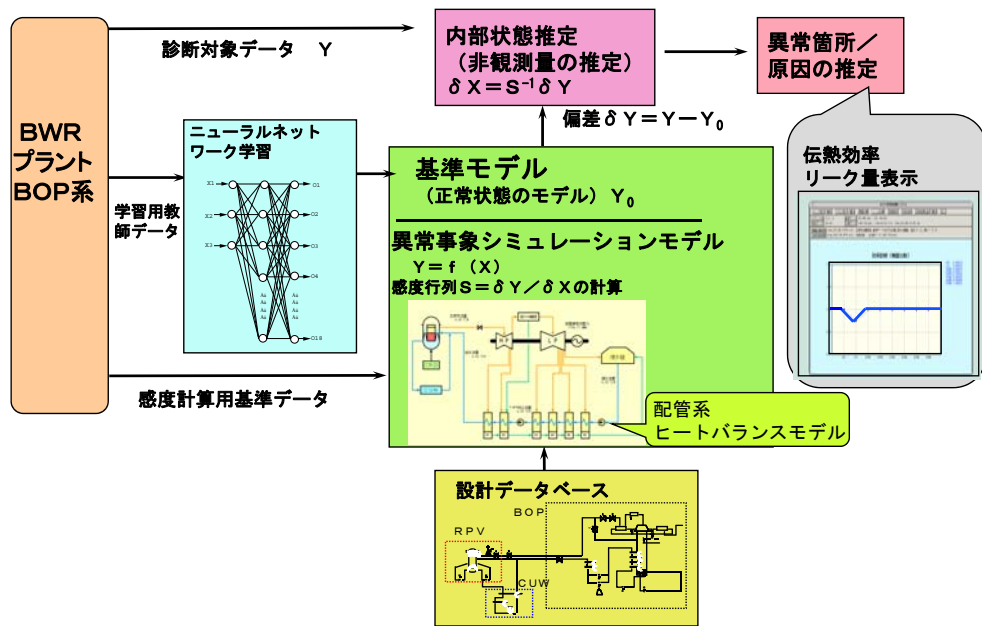
・化学/鉄鋼/発電プラントに適用拡大中

・原子力発電プラントの例<sup>30)</sup>

- 異常兆候の早期検知のために、約500点のプロセス信号を常時監視
- 中性子束や流量のゆらぎの周波数スペクトル密度や分散を分析し、システムの熱バランス等を監視
- 多変数自己回帰モデルを適用して温度反応度係数や安定性指標の監視

ジェットポンプノズルのクラッド付着監視によるクラッド除去計画を策定





検査のばらつきや劣化確率分布変化を考慮

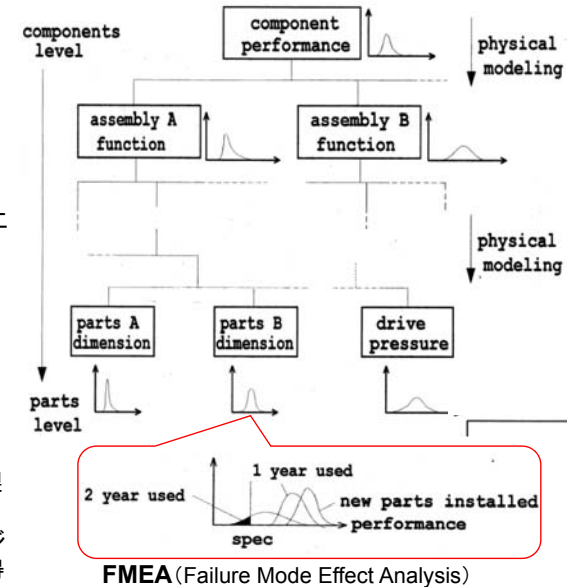
□各機器の信頼性を各部品の寸法/材質強度のばらつきや諸因子の劣化確率分布変化を考慮して確率的算出

□点検検査の不確かさ、検査前の欠陥の分布など確率的な因子まで評価に組み込むことにより、現実に存在する不確かさの影響を含めて劣化、破損を確率的に定量化

効果

●従来の決定論的評価では最も厳しい条件が仮定されており、場合によっては大きすぎた余裕を是正

●寿命中の保守費用を損失として考慮し、製造費用に対する組立寸法公差、材質等の感度解析を行い最適なプラントライフマネジメントを行なう設計データ・保全データ等を獲得



参考文献

- 1) 南川他:超音波流速分布計を用いた静止水中上昇気泡周囲の平均速度場測定, 機論 (B編), 72巻714号, (2006)345-352.
- 2) 佐藤他:超音波を利用した残留応力測定技術の開発, 日本機械学会第6回評価・診断に関するシンポジウム講演論文集,(2007)89-91.
- 3) 大谷他:電磁超音波共鳴法を用いたCr-Mo-V鋼のクリープ損傷評価, 日本機械学会第5回評価・診断に関するシンポジウム講演論文集,(2006)73-77.
- 4) Ochiai, et al.Laser-ultrasonic study of micro crack sizing and its application to nuclear reactor internals, 安全学会誌,Vol.4, No.4 (2006)41-46.
- 5) 横井他:打撃音による自動車のホイールナットのゆるみ診断, 日本機械学会第1回評価・診断に関するシンポジウム講演論文集,(2002)16-20.
- 6) 周他:打撃法による瓦の亀裂の検出, D&D2003.530(2003).
- 7) 田中他:定在波の直交性を考慮した補強コンクリートパイルの微細多重クラックの高精度検出,計測自動制御学会第24回センシングフォーラム,(2007).
- 8) 章他:寄生的離散ウェーブレット変換およびその異常信号検出への応用, 日本機械学会第6回評価・診断に関するシンポジウム講演論文集,(2007)95-100.
- 9) 宇佐美他:波形観測にもとづく場合計測と機械設備異常診断への応用, 日本保全学会第4回学術講演会,(2007)337-338.
- 10) 水谷他:音響波プローブにおける音の伝播時間の測定精度向上, 日本音響学会2003年春季講演論文集, 1247-1249.
- 11) 玉置他:主成分分析と確率ネットワークによる音響診断, 日本機械学会第2回評価・診断に関するシンポジウム講演論文集,(2003)52-54.
- 12) 吉岡他:複合情報診断システムによる転がり軸受の状態監視, 日本機械学会第5回評価・診断に関するシンポジウム講演論文集,(2006)87-90.
- 13) 古江他:すべり軸受における焼付現象の再現試験, 日本機械学会第4回評価・診断に関するシンポジウム講演論文集,(2005)70-73.
- 14) 橋川他:フラクタル分析手法に基づく石油タンク裏面腐食リスク解析とそのAEグローバル診断への適用, 日本機械学会第2回評価・診断に関するシンポジウム講演論文集,(2003)167-169.

- 15) 今泉他:実機ガスタービンでのAE計測, 日本機械学会第4回評価・診断に関するシンポジウム講演論文集,(2005)94-97.
- 16) 永清他:円筒ガイド波による鋼管の減肉検査について, 日本機械学会第1回評価・診断に関するシンポジウム講演論文集,(2002)52-55.
- 17) 竹内:超音波法による転動体支持荷重測定を試み, 日本設計工学会2005年春季研究発表講演会講演論文集,(2002)99-102.
- 18) 荒川他:超音波式振動計の開発, D&D2002.203(2002).
- 19) 尾崎他:超音波を用いた2重管内の軸振動計測装置の開発, D&D2006.648(2006).
- 20) 渡部他:縦型ポンプ監視診断装置の開発, D&D2002.210(2002).
- 21) 尾崎他:海水ポンプの監視診断装置の開発, D&D2004.337(2004).
- 22) Osaki, et al: Development of Vertical Pump Diagnostic System Using Ultrasonic Vibrometer, Proc.6rd Int. Conf. On Nuclear Engineering, 48903.
- 23) 落合他:レーザ超音波法によるガスの3次元空間分布計測, 計測自動制御学会論文論文集Vol34.No.11.1546/1552(1998).
- 24) Enamito, et al: Method for detecting the position of an abnormal site of a buried pipe,Proc.Inter-Noise98.987-990(1998).
- 25) 田他:センサ搭載ステップを用いたエスカレータ診断, 日本機械学会第4回評価・診断に関するシンポジウム講演論文集,(2005)98-100.
- 26) 松浦他:振動モニタリングによるヘリコプタの状態監視, 日本機械学会第11回評価・診断に関するシンポジウム講演論文集,(2012)111-114.
- 27) 佐々木他:光ファイバEMAT法による配管減肉計測の高度化, 日本機械学会第11回評価・診断に関するシンポジウム講演論文集,(2012)7-10.
- 28) 渡部他:誘導電動機への電流兆候診断技術の適用, 第16回動力・エネルギー技術シンポジウム講演論文集, Vol.16,(2011)45-50.
- 29) 中山他:モータ軸受クリープの診断, 日本機械学会第11回評価・診断に関するシンポジウム講演論文集,(2012)64-68.
- 30) 藤波他:BWRプラントの効率診断システム(実機データを用いたシステムの検証), 日本原子力学会,1998年秋の大会