

delta-ANALYSER

トランスミッション・エンジン
早期異常検出システム

オートマックス株式会社

REILHOFER KG

お問い合わせ: 03-3960-9001 (オートマックス)

はじめに

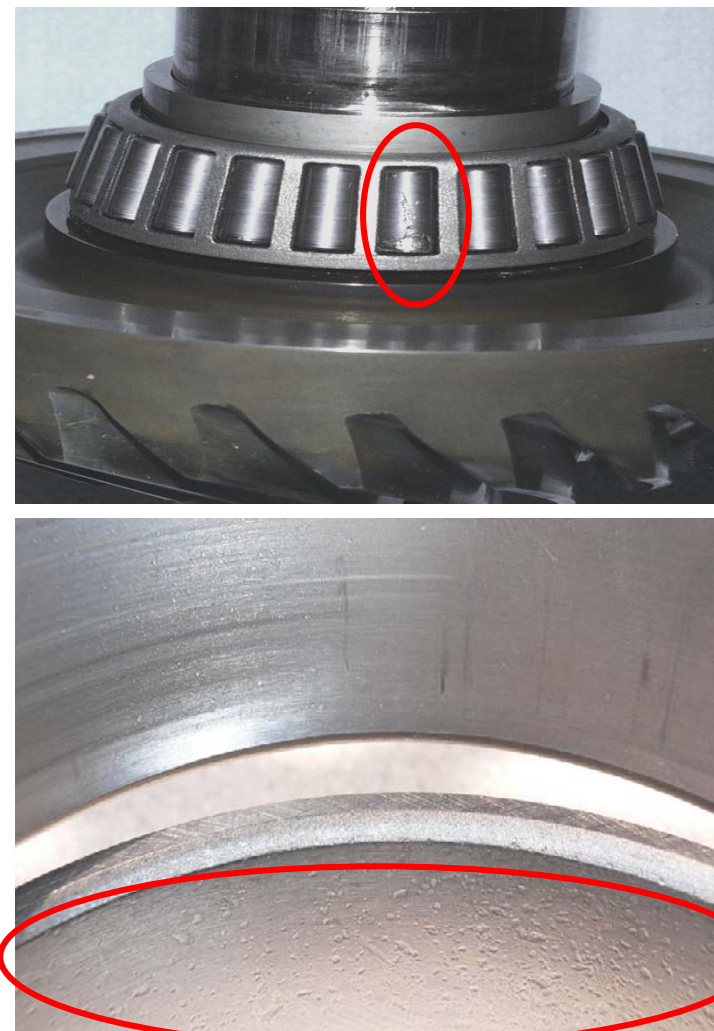
- delta-ANALYSERは、トランスミッションやエンジンの長時間にわたる耐久試験を行う目的で開発されたシステムです。トランスミッションであればまず、入力から出力までの構造パラメータを入力して、ミッション構造の作図を行います。そして加速度ピックアップを取り付けた供試体を試験ベンチに取り付けて、試験を開始します。そのまま長時間にわたり連続して試験を続けることにより、試験の開始からの一定時間経過後の回転機械構造物としての変化量を追跡することにより、各部位に発生した異常を検出します。
- delta-ANALYSERはミラー構成のハードディスクをもつコンピュータと、高速の周波数分析器で構成されています。周波数分析器では加速度ピックアップで検出した振動信号の次数比分析を行い、長時間にわたる分析データを蓄積します。回転機械内部の構造変化の総量は、次数比分析データからライルホーファー社が開発した「Trend Index」と呼ぶデータに指標化されて、構造物内部での異常の成長度合いを評価します。
- パワートレイン系の回転機械は、内部に発生した異常が成長して全損に至る前にある特徴的な傾向が「Trend Index」に現れます。delta-ANALYSERはその特徴抽出を的確に行うことにより全損にいたる前に検知を行い、試験ベンチに信号を送ってベンチを停止させる（寸止めする）ことが可能です。
- 長時間にわたる試験中でも試験終了後でも、機械内部のどの部位が時間の経過とともに欠損して、さらにどのように成長したかの履歴を観測することが可能であり、試験中に供試体を分解して、内部の様子を観るような必要はありません。このような機能により、耐久試験の生産性を飛躍的に向上させることが可能です。

可能な限り早期に異常を検出

歯車破損、ピッチング...



ベアリングのピッチング...



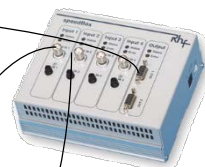
検出システム

delta-ANALYSERは、計測システムと、収集されたデータを視覚化し、保存し、処理するPCによって構成されています。



delta-ANALYSER本体

計測システムは、計測された信号（構造体伝達ノイズ、回転速度、その他のアナログおよびデジタル入力データ）を記録します

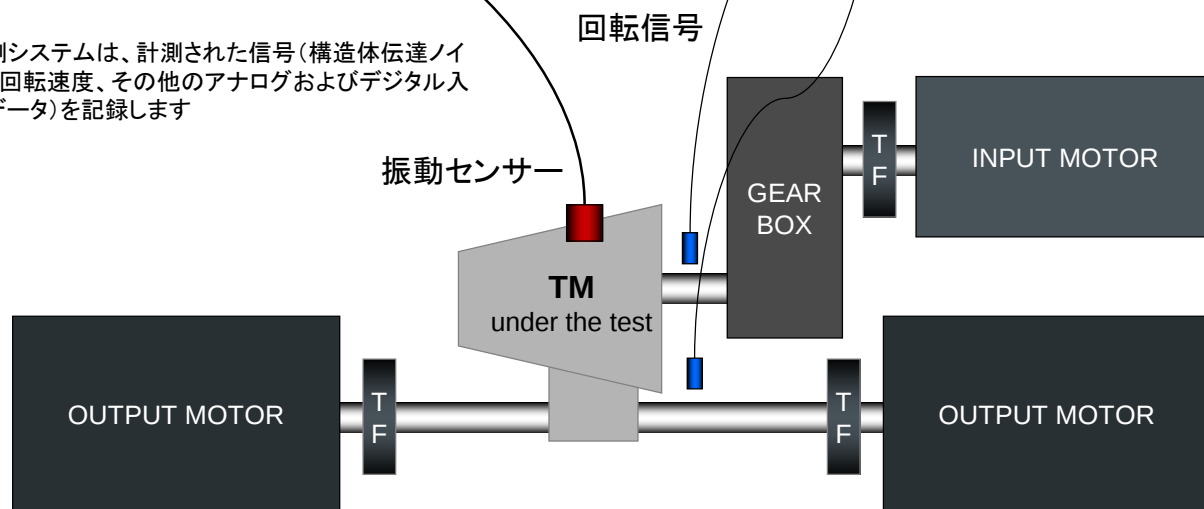


Speed Box

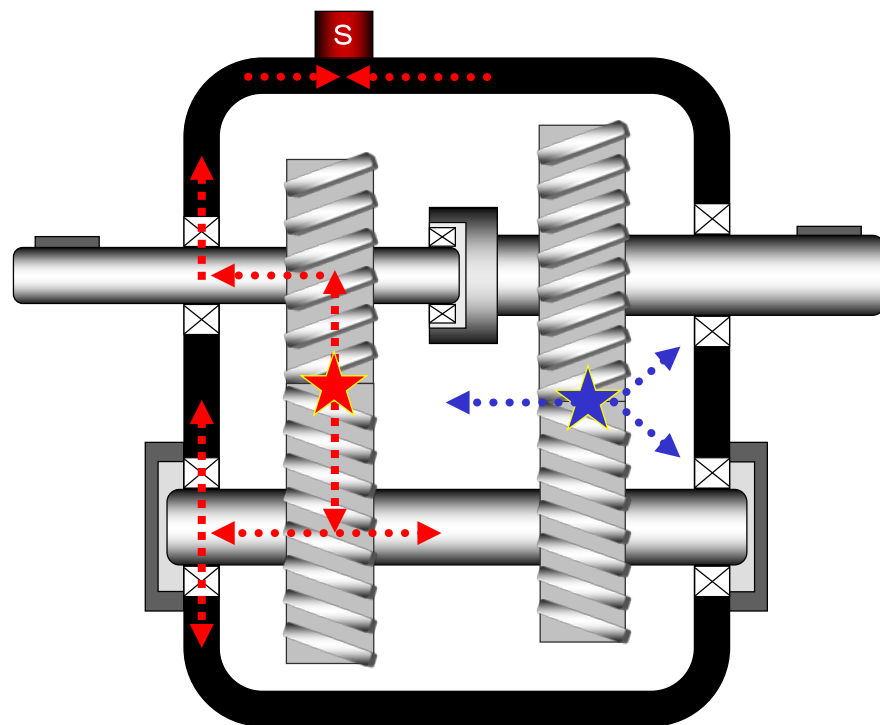


delta-ANALYSER System

モニタリングと視覚化を受け持つPCは、ヒューマン・マシン・インターフェースとして働きます。これは計測装置の起動、停止、調整に用いられます。モニタリングが行われている間は、計測されたデータが表示され、保存され、アラーム閾値と比較されています。



歯車の噛合やその他の回転部品によって機械内部で発生するノイズは、シャフトやベアリングを通じて、構造体伝達ノイズとしてセンサーに伝わります。この構造体伝達ノイズを記録するため、圧電センサーを供試体に直接取り付けます。また、対応する回転速度は誘導センサーまたは光学センサーによって計測され、これらのセンサーがマーカーごとにパルスを送信します。



凡例

S 振動センサー

☆ 振動源

...→ 構造体伝達ノイズの伝達経路

Structure-Borne-Noise

...→ 空気伝搬ノイズに伝搬経路

Air-Borne-Noise

Structure-Borne-Noise

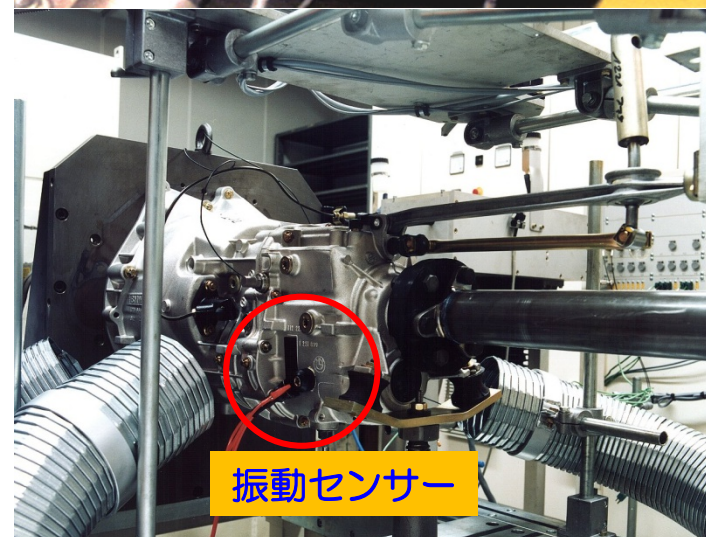
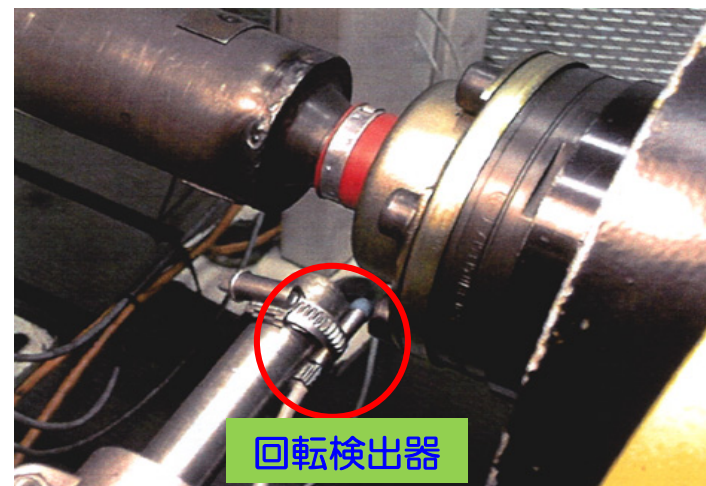
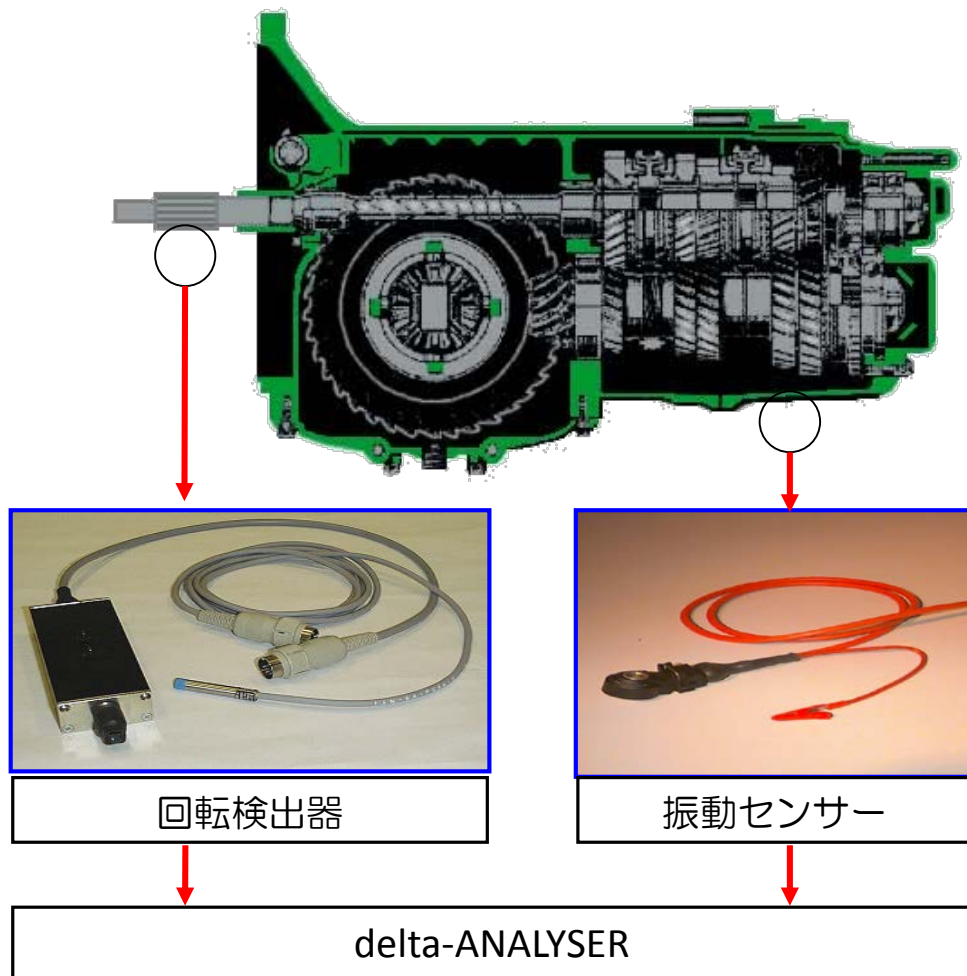
構造伝達騒音: 構造体表面が振動することで周りの空間に音を放射する現象

Air-Borne-Noise

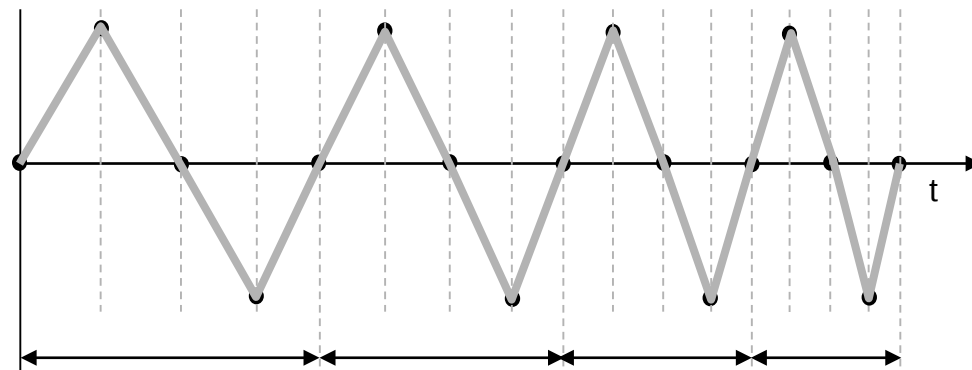
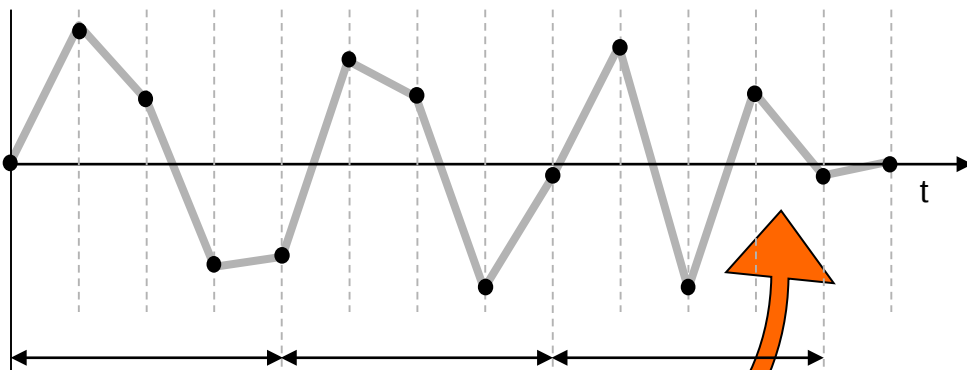
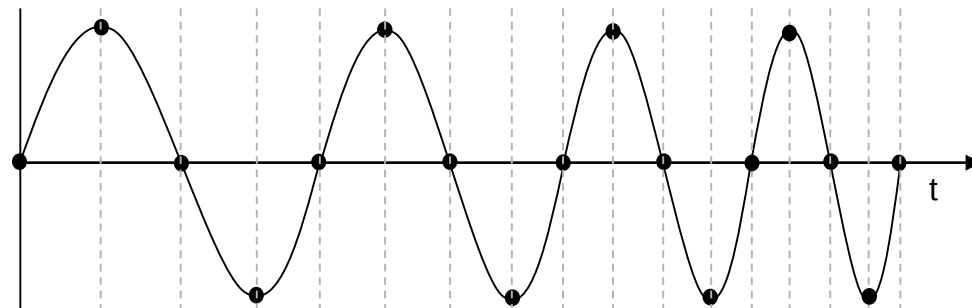
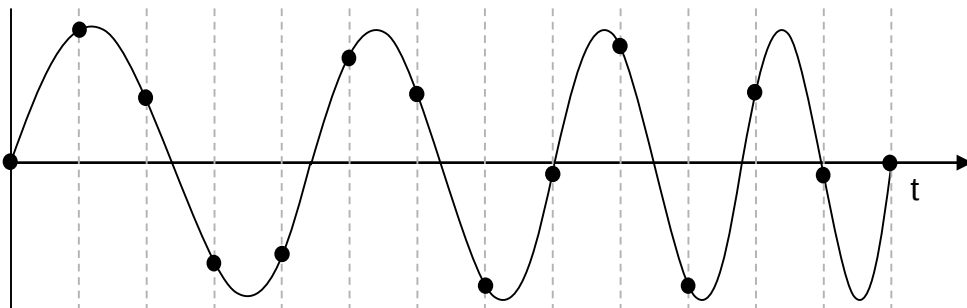
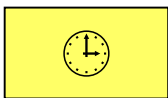
空気伝搬騒音: 空洞共鳴と流体騒音に分類される

ノイズ伝搬の概略図

次数解析アプリケーション例



周波数解析 ⇔ 次数解析



一定間隔のデータサンプリング
→ 高速回転時、高周波に追従できない懸念あり

回転パルスに同期
(Sinus wave, rotation, ...)

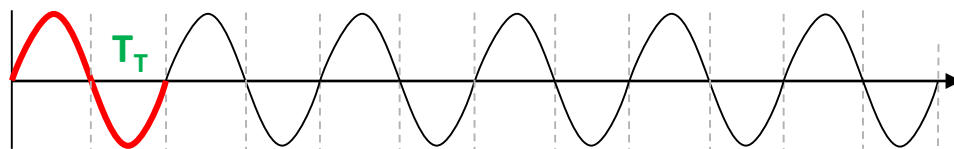
振幅変調: サイドバンド

時系列信号 (生波形)

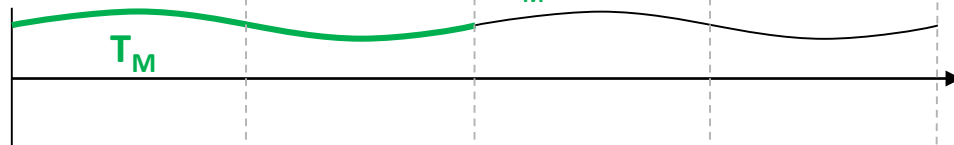
FFT

スペクトラム

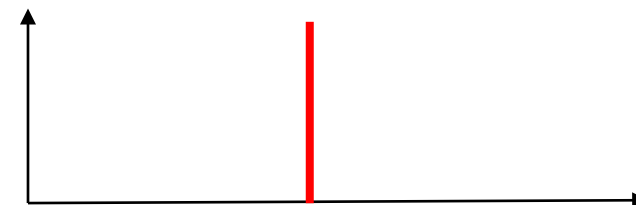
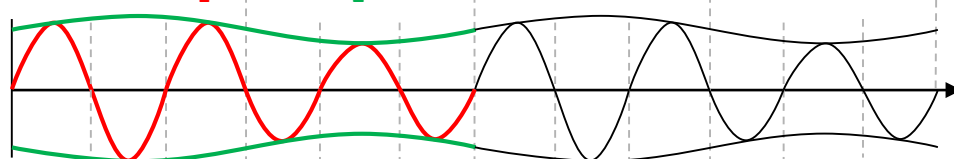
搬送波 Carrier wave T_T



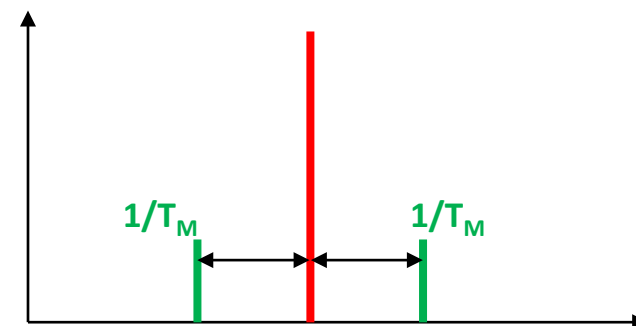
振幅変調波 Modulation wave T_M



$f(t) = \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot \sin(\omega_2 \cdot t)$



$f_T = 1/T_T$

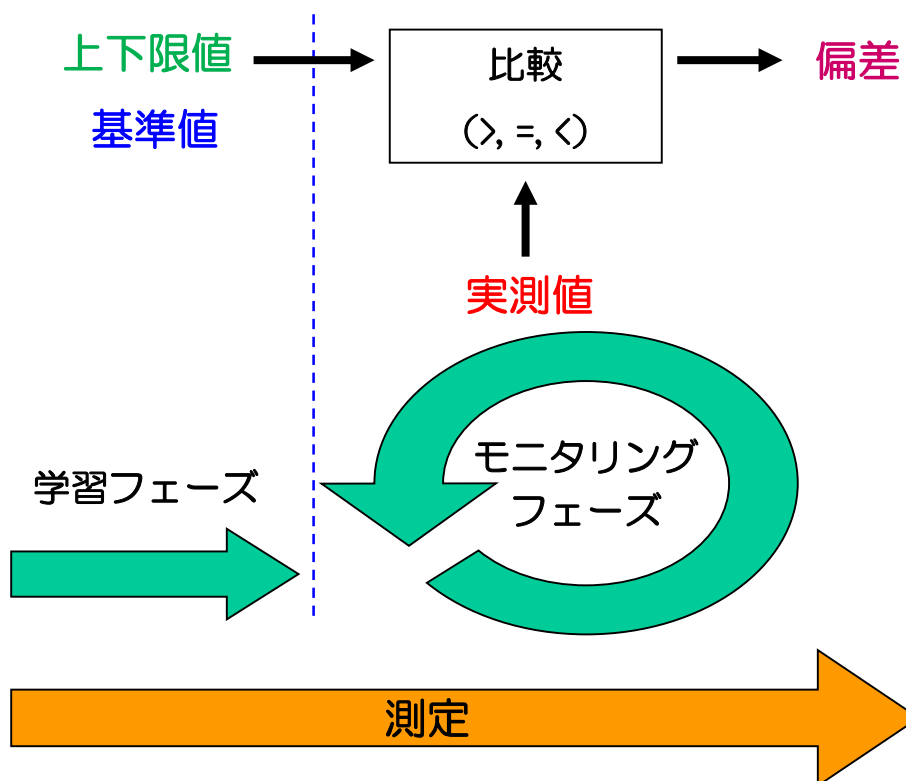


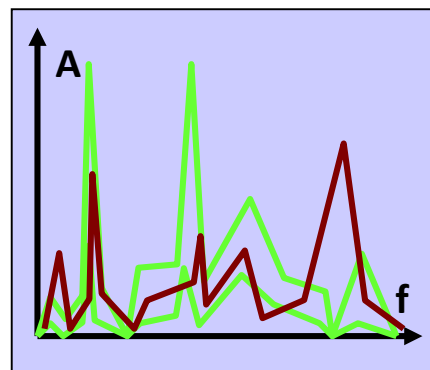
$f_T = 1/T_T$

スペクトラム: キャリア周波数 = ギヤの噛み合い次数

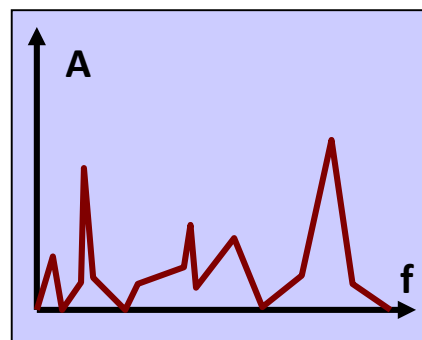
サイドバンド: 変調周波数 = 歯車の損傷によるシャフトのダメージ

測定プロセス

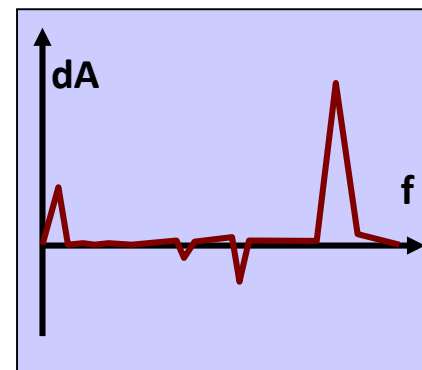
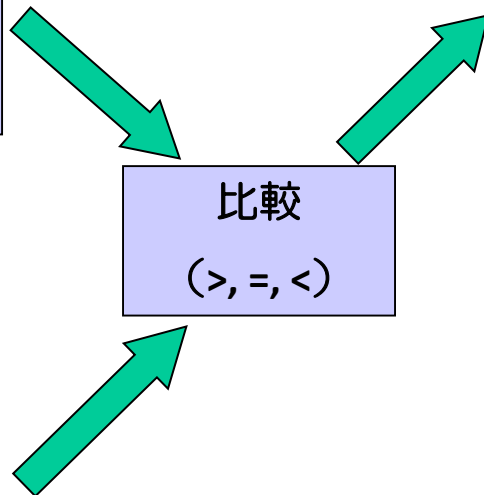




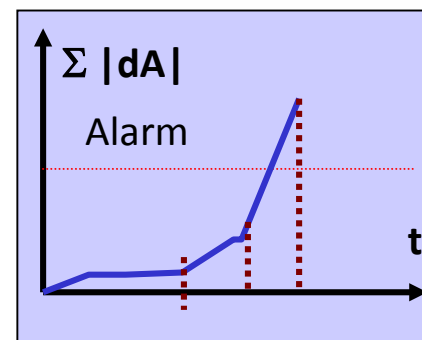
上下限值



測定値



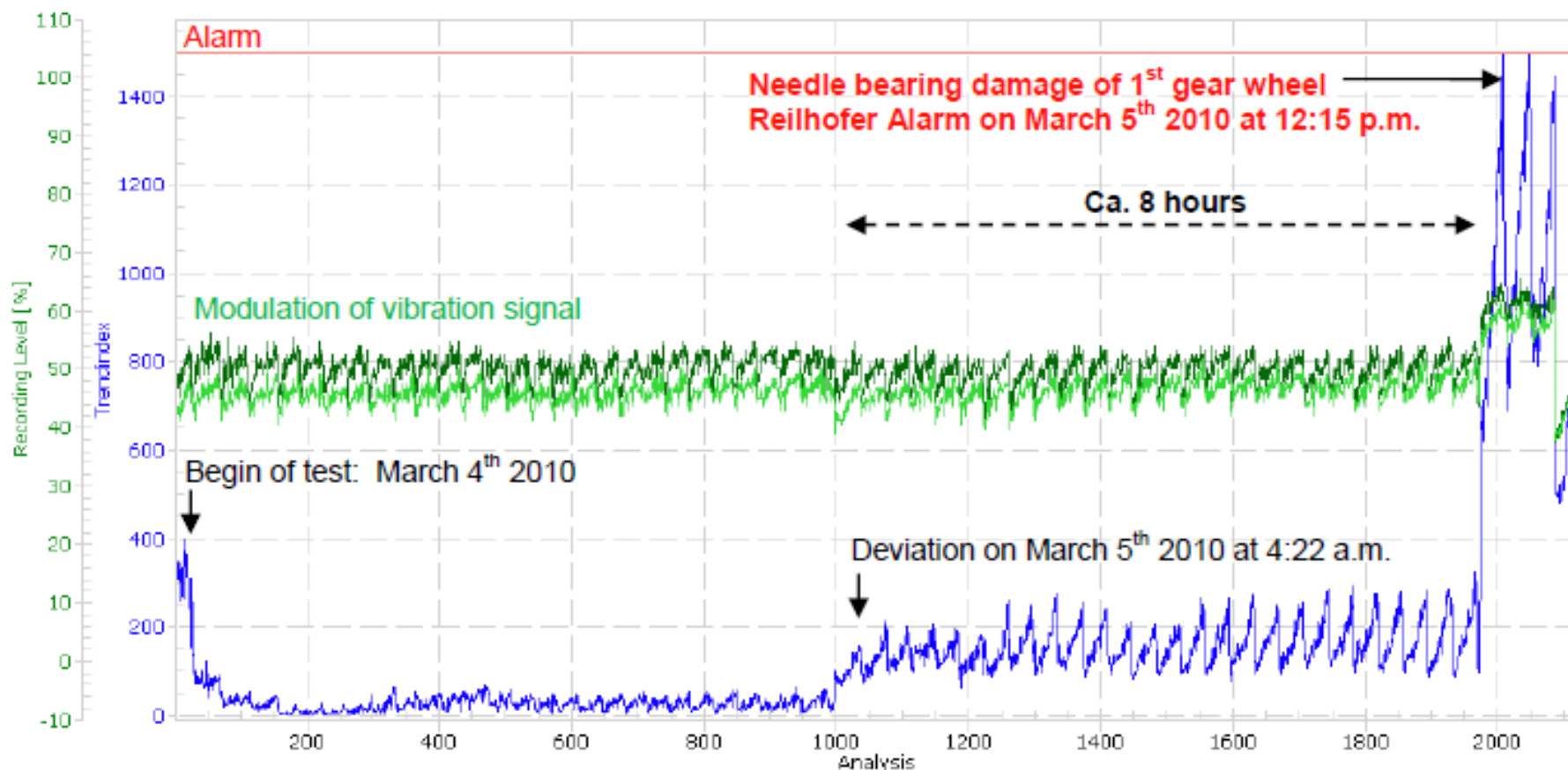
偏差



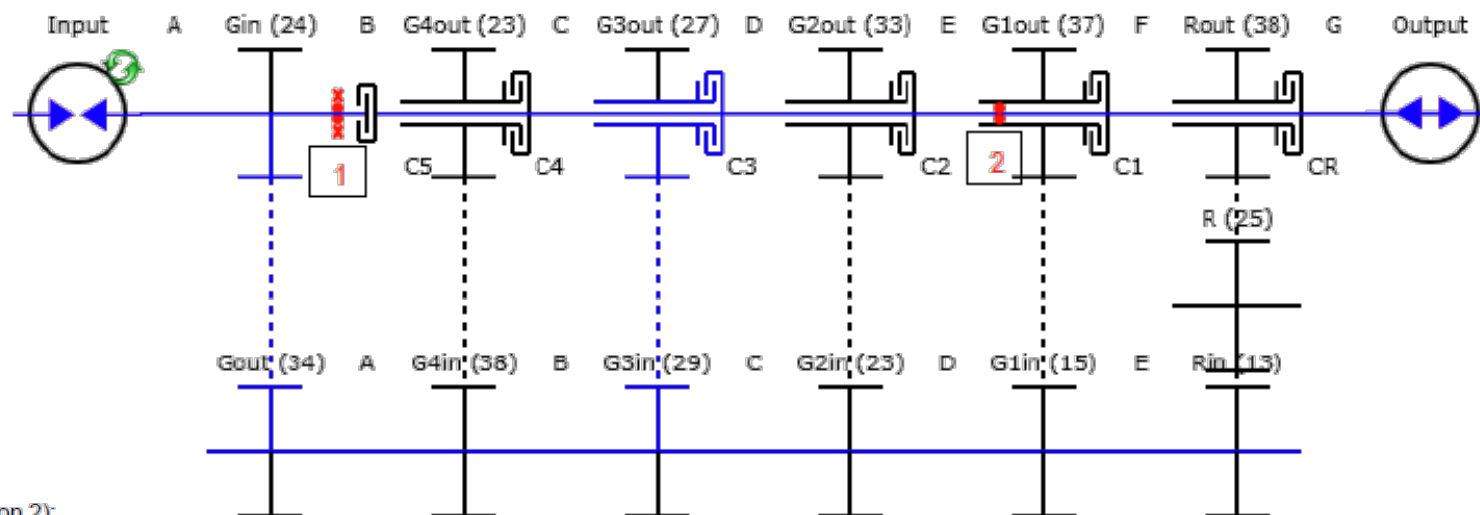
Trend Index

凡例：
A—振幅
dA—偏差
f—周波数
t—時間

Trend-index of delta-ANALYSER from 4th to 7th March 2010



次数計算ツール



Needle bearing of 1st Gear Wheel (Position 2):

Harmonic	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Outer Ring	7,616	15,232	22,848	30,464	38,080	45,696	53,312	60,928	68,544	76,160
Inner Ring	8,432	16,864	25,296	33,728	42,160	50,592	59,024	67,456	75,888	84,320
Needle	4,629	9,259	13,888	18,517	23,147	27,776	32,405	37,034	41,664	46,293
Cage	0,224	0,448	0,672	0,896	1,120	1,344	1,568	1,792	2,016	2,240

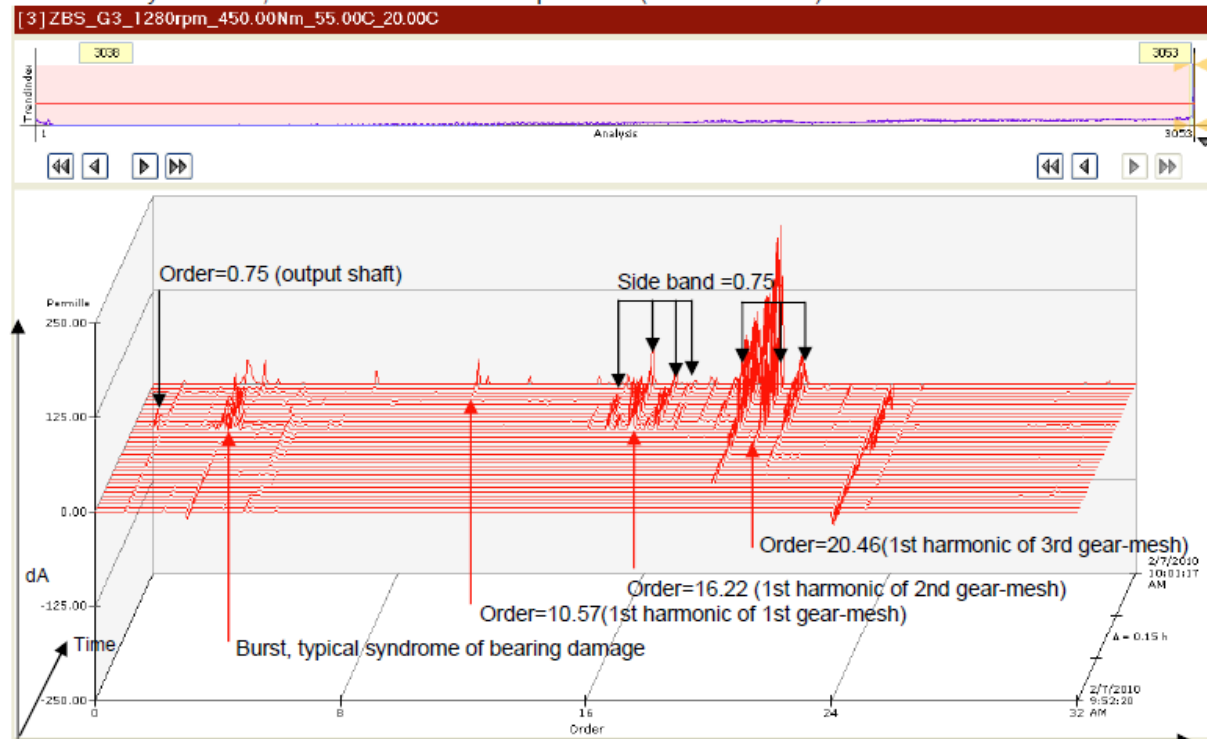
Table 2 – Characteristic order values of 1st gear wheel needle bearing at 3rd gear

Gear-mesh, input-, output- and counter shafts at 3rd gear:

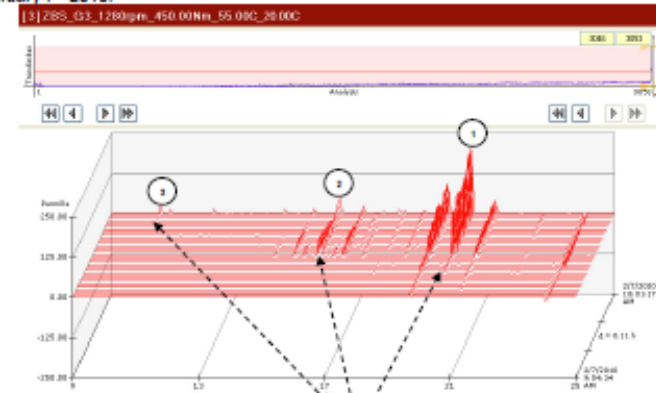
Harmonic	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Input shaft	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000	10,000
Counter shaft	0,706	1,412	2,118	2,824	3,530	4,235	4,941	5,647	6,353	7,059
Output shaft	0,758	1,516	2,275	3,033	3,791	4,549	5,307	6,066	6,824	7,582
Gear-Mesh(in)	24,000	48,000	72,000	96,000	120,000	144,000	168,000	192,000	216,000	240,000
Gear-Mesh(1st)	10,588	21,176	31,765	42,353	52,941	63,529	74,117	84,706	95,294	105,882
Gear-Mesh(2nd)	16,235	32,471	48,706	64,941	81,177	97,412	113,647	129,882	146,118	162,353
Gear-Mesh(3rd)	20,471	40,941	61,412	81,882	102,353	122,824	143,294	163,765	184,235	204,706

Table 3 – Characteristic order values of gear-mesh and shaft at 3rd gear

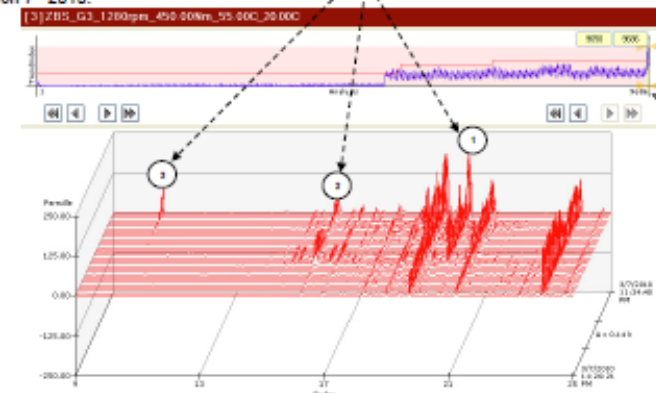
On February 7th 2010, waterfall of deviation spectrum (zoom-in mode):



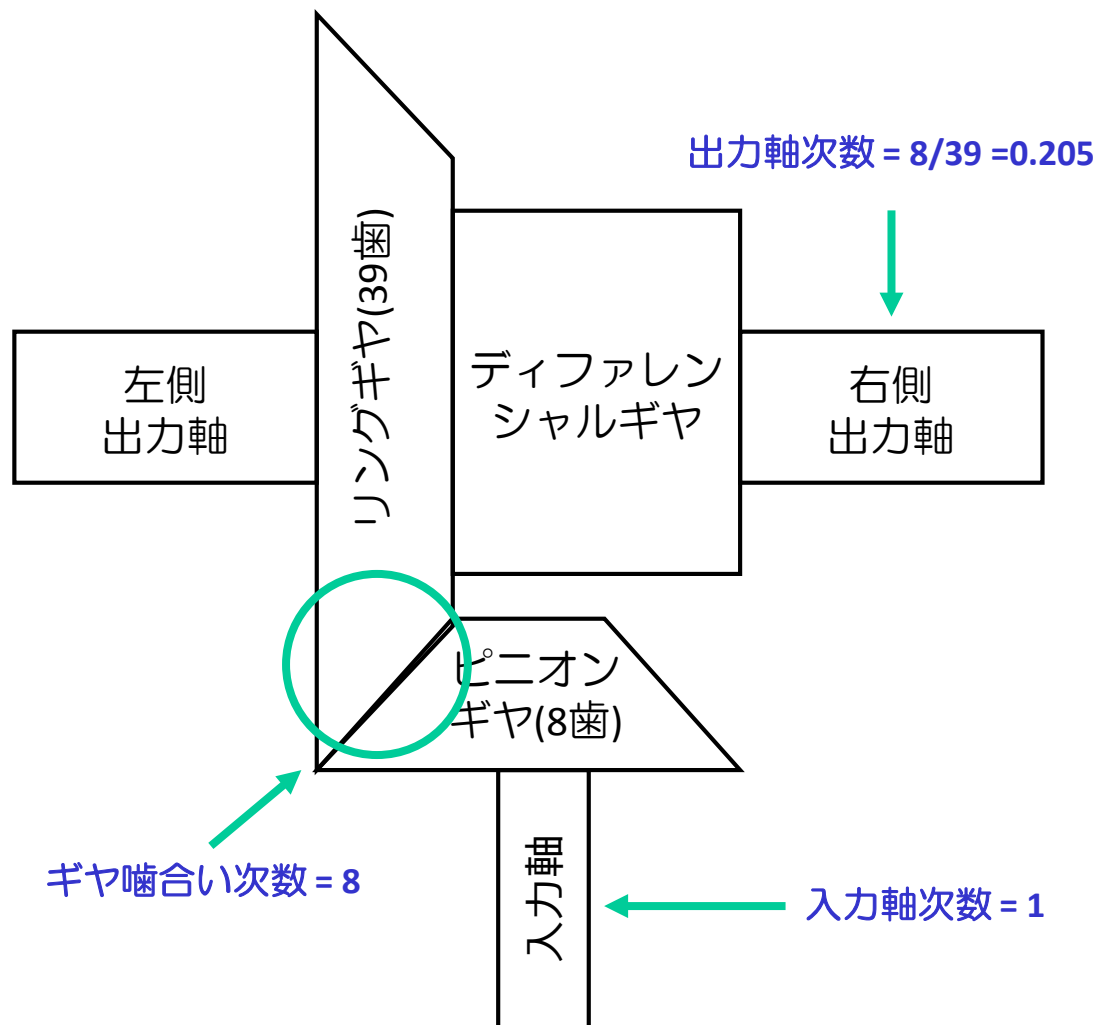
On February 7th 2010:



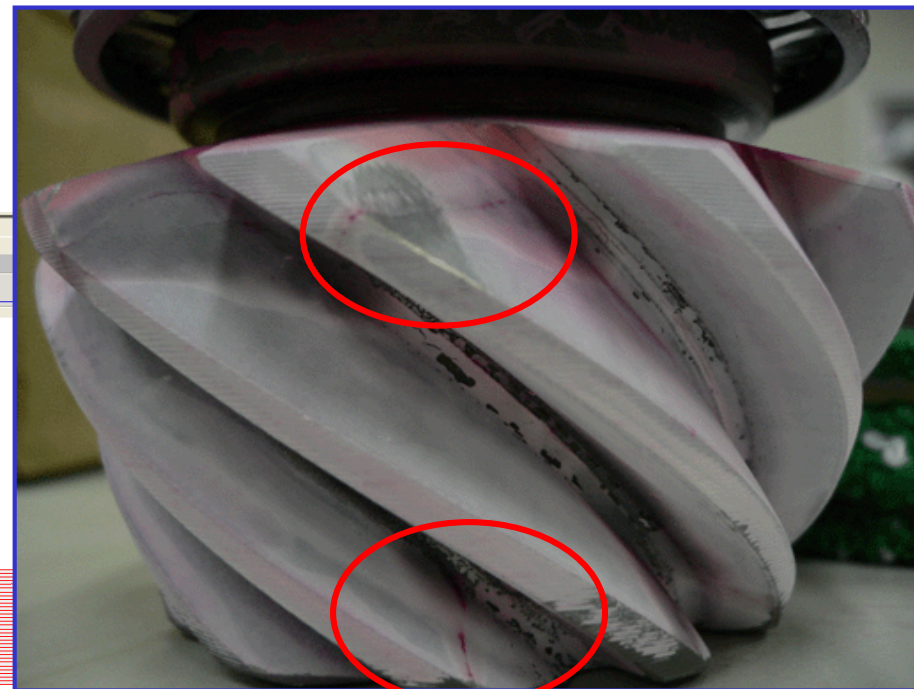
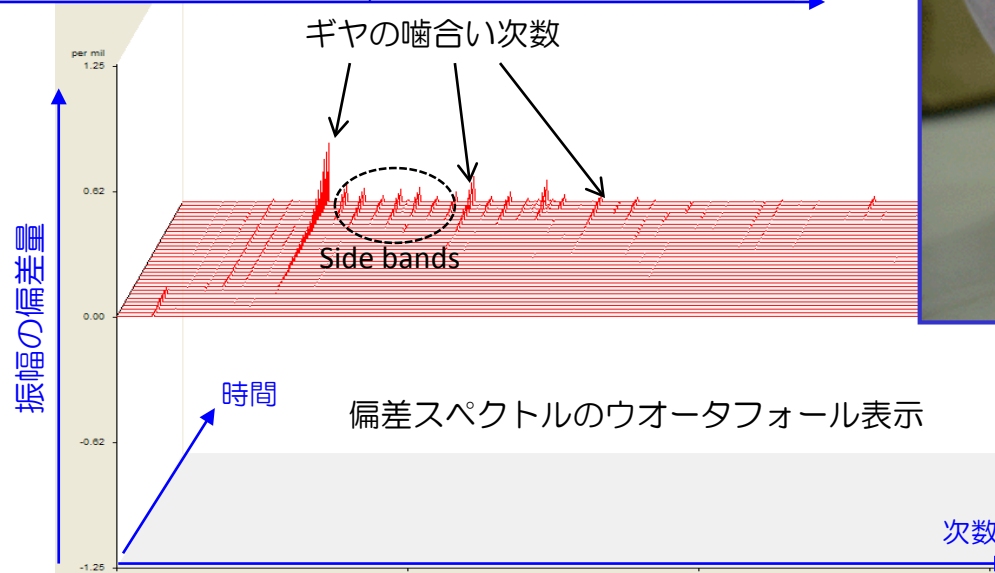
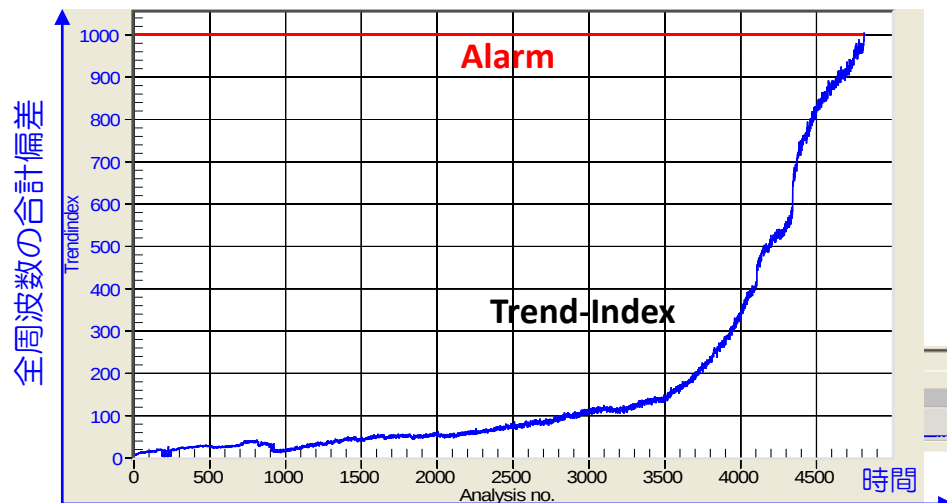
On March 7th 2010:



破損例1：試験体の次数計算

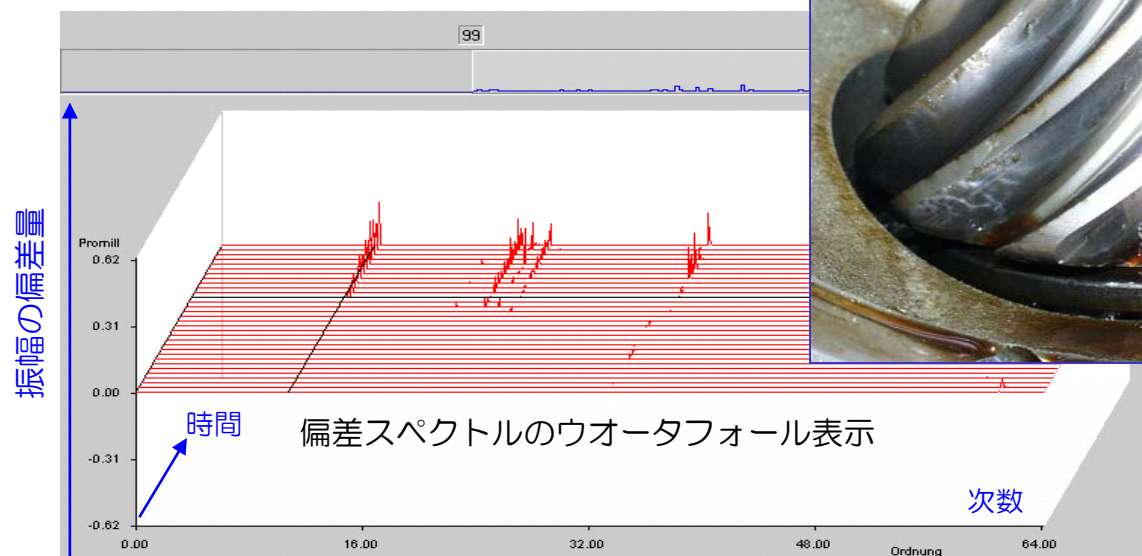
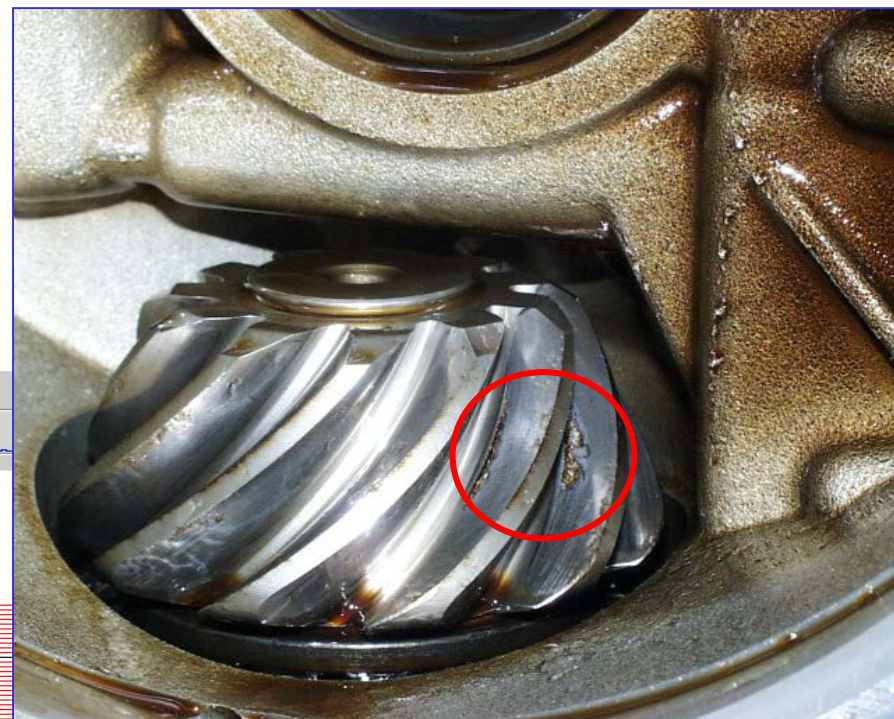
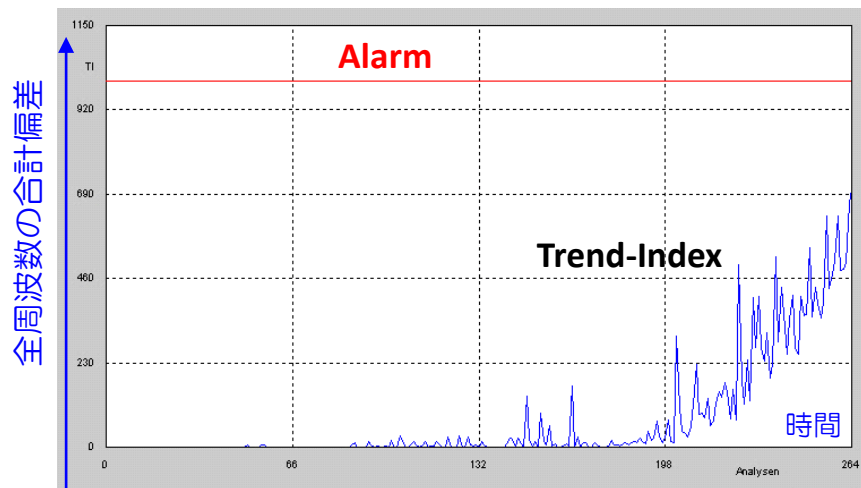


破損例1：ピニオンギヤ破損



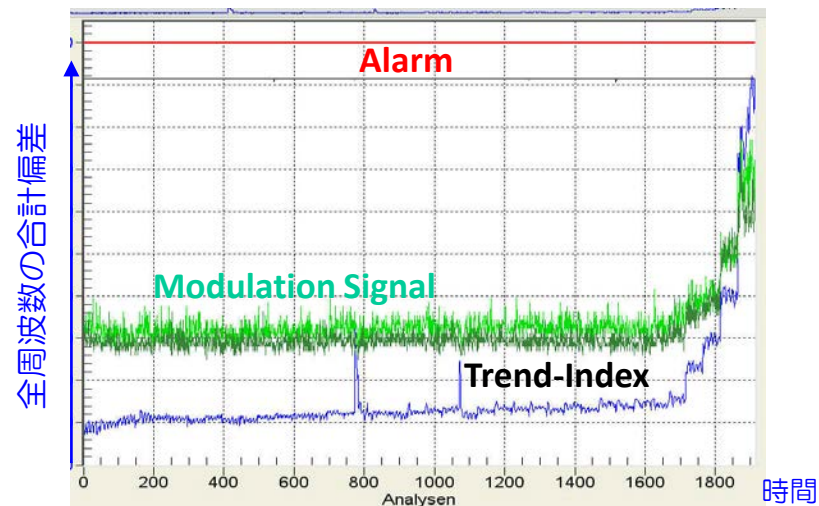
ピニオンギヤの破損

破損例2：ピニオンギヤのピッチング

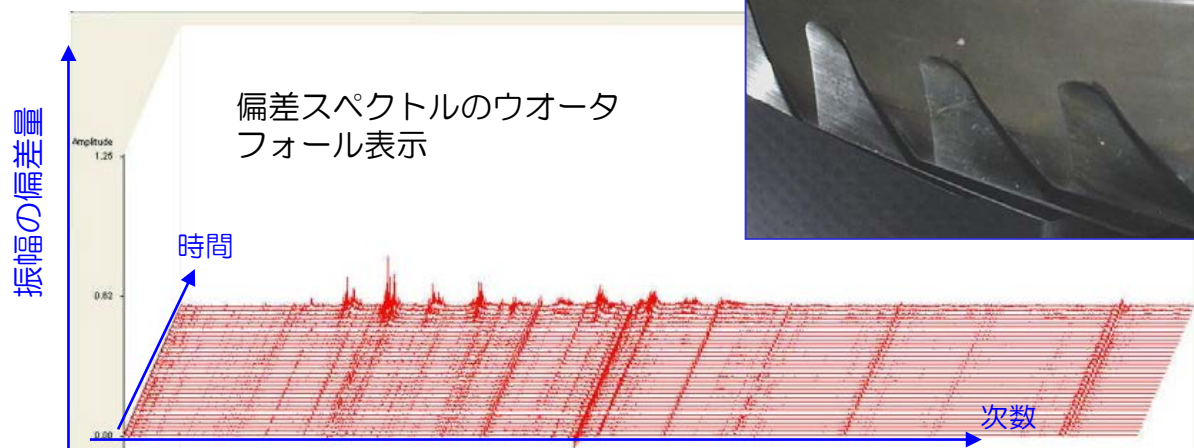


ピニオンギヤのピッチング

破損例3：ピードルベアリングのピッチング



ピッチング



714時間、66,928kmの耐久試験を終え、供試体は完全に破壊されました。1リッターで10kmのガソリンを消費するエンジン、ガソリン単価1リッター150円でコストを計算すると以下ようになります。

人件費	$15,000\text{円}/1\text{時間} \times 714\text{時間} = 10,710,000\text{円}$
燃料費	$66928\text{km} \times 1\text{L} / 10\text{km} \times 150\text{円} = 1,003,920\text{円}$
試作品コスト	200,000円
合 計	11,913,920円

もし損傷が早期に発見出来れば、損傷した部品を交換してテストを継続させることが可能になります。供試体がテストの要求（100,000km耐久）を満たすことが出来、またエンジニアもより多くの情報を試験から得られ、供試体の改良に役立てることが可能になります。