

1. 委託事業名： 高速回転機用金属摩耗センサーの開発

2. 委託事業者名： 委託先団体:明陽電機株式会社

連携大学:国立高等専門学校機構沼津工業高等専門学校

電気電子工学科 望月孔二教授

3. 研究成果概要:

[1] はじめに

高速回転機用金属摩耗センサーの開発を明陽電機と沼津工業高等専門学校との連携で実施し、有益な成果が得られたのでここに報告する。 検出方式については、静電容量式を採用し、調査研究を行った。基礎データの測定から、磨耗分量－静電容量の変化については理論計算以上の静電容量の変化が測定された。この基礎データに基づき試作・開発を行ない、100ppm.vol の分解能が得られた。当社が設定した当初目標値 20ppm.vol には至っていないが、電極形状の大型化、信号処理方法の改良により、目標達成の可能性がつかめた。

[2] 産学共同研究委託事業の概要（目的と要旨）

2. 1 開発の目的

当社は船舶及び動力機器用のセンサー、監視機器及び制御機器メーカーである。顧客からの要望の中で、船用低速ディーゼル機関のピストンリングとシリンダー間の磨耗状態を監視できれば、エンジンの吹き抜け等の重大事故を未然に防止することが可能であるとの要望があった。この要望を受け当社は、先に、鉄粉磨耗センサーを開発した。一方、高速回転機についてはメタル軸受けとなっており、ホワイトメタル（主材料：Sn、非磁性体）の磨耗粉検出も極めて重要な情報となることが判った。このことから、非磁性金属の磨耗粉検出を本研究開発のテーマとした。

2. 2 検出方法の選択

磨耗品検出方法としては、以下の方法が考えられる。

①フェログラフィーによる目視確認、②パーティクルカウンタによる粒子カウント

③ICP 発光分光分析 アーク放電方式、プラズマ放電方式 ④化学的／定量分析

しかし、これらの方法は、検体の下処理が煩雑、測定器が高価である。本開発では低価格でかつ簡便に測定できるセンサーの開発を目的とした。種々検討の結果、静電容量式が最も簡便な方法であると判断した。なお容量式については、種々難しさがあるが、信号処理及び計測方式を工夫して不確定要素を排除した。

[3] 研究成果

3. 1 計測原理

相対する2電極間の静電容量は、以下の関係式から求めることが出来る。

$$C = \epsilon_0 * S / d$$

C : 2電極間の静電容量 ϵ_0 : 真空における誘電率

S : 電極面積

d : 電極間距離

潤滑油等の測定媒体中に導体粉が混入した場合、電極間距離が近づくことと等価になり、従って、静電容量が増加することになる。

3. 2 導体粉の濃度と静電容量との関係

電極間距離 5mm の平行平板による対抗電極コンデンサに導体粉が入った時の容量値を、シミュレーション等によって求める。ただし、3次元構造のままシミュレーションすると計算時間が膨大になるため、x軸（電極に垂直な軸）とy軸（電極に平行な1つの軸）は独立とするが、z軸（電極に平行なもう一つの軸）は同じ構造が続いているものとして計算する。ちょうど、油中に何本かの針金が平行に入った構造である。（図1）

導体がない場合を基準（すなわち100%）とし、幅5mmあたり0.09mm²の導体が入った場合について、基準の何パーセントになるか求めた。

60μm四方の針金が25本入っている場合については3つの条件で計算した。図2に条件の概要を示す。(a)は、中央付近に針金が等間隔の1列の配置、(b)と(c)は、針金がそれぞれランダムな配置である。シミュレーションによって得られた結果を表1に示す。なお、シミュレーションによる値は、収束の途中であり、あと0.02%程度の変化があり得る。なお、表1から、次の事が言える。①導体の分布は少し影響するが、大きな変化をもたらさない ②粒子になることは、1枚の導体プレート形に配置するよりも容量値に大きく影響する

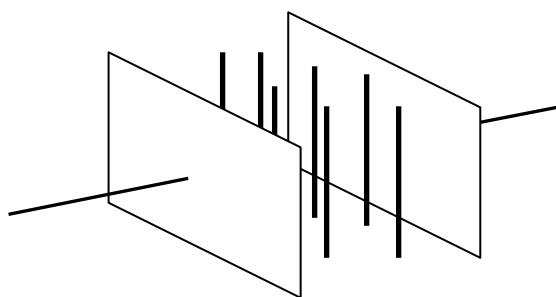
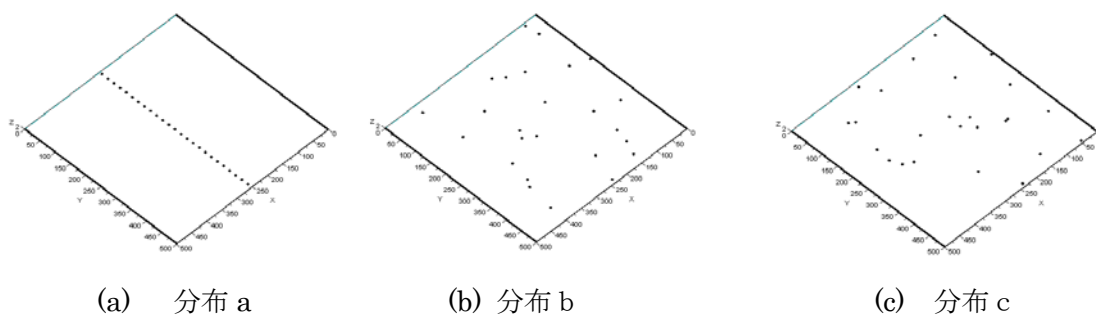


図1 容量と、シミュレーション時の導体の配置

続いて、60μm四方の針金が、ランダムに8, 16, 24本入っている場合についてシミュレーションした。図4に条件の概要を示す。シミュレーションによって得られた結果を表2に示す。8本あたり約0.20%の増加し、静電容量を測ることが導体粉濃度の測定になることが分かる。



(a) 分布 a

(b) 分布 b

(c) 分布 c

図2 導体の入り方 (1)

表1 幅5mmあたり、導体なしと、0.09mm²の導体が入っている場合の容量値

条件	基準	1枚の導体プレート	幅5mmあたり60μm四方の針金が25本内包		
			図2(a)	図2(b)	図2(c)
容量値	100%	100.36%	100.59%	100.58%	100.58%

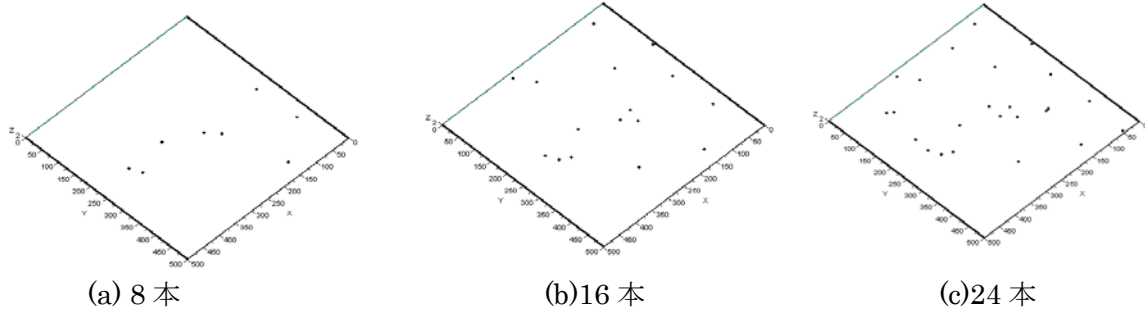


図3 導体の入り方 (2)

表2 幅5mmあたり60μm四方の針金がX本入っている場合の容量値

X=0本	X=8本	X=16本	X=24本
100%	100.20%	100.38%	100.59%

3. 3 基礎実験

前節の理論を受けて、対向電極型コンデンサによる油中の導体粉の検出の可能性を実験的に確認した。基礎実験では食用油と鉄 (Fe) を使用した。なお、実験装置を図4に示す。なお、電極間距離は1.0mm、金属粉は粒径50μmとした。容量値はLCRメータで測定した。

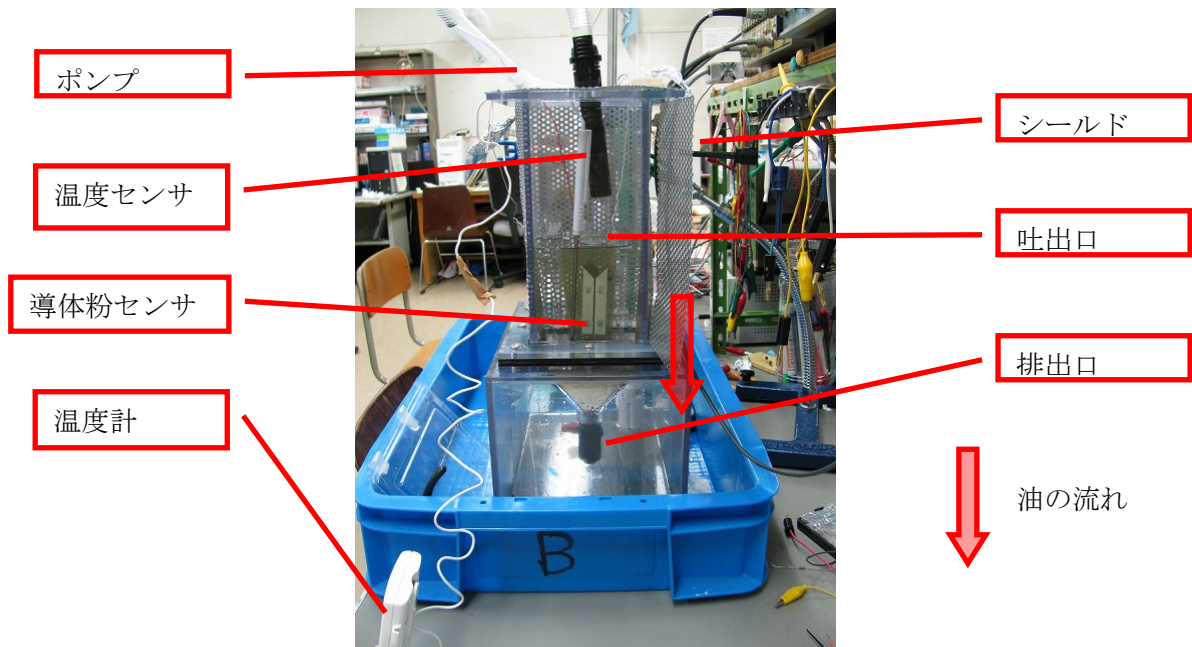


図4 基礎実験のための装置の概要

測定の結果、計測値は安定しており、3桁目までは全くぶれず、導体粉濃度と静電容量の関係

は線形であった。なお、測定結果を図5に示す。

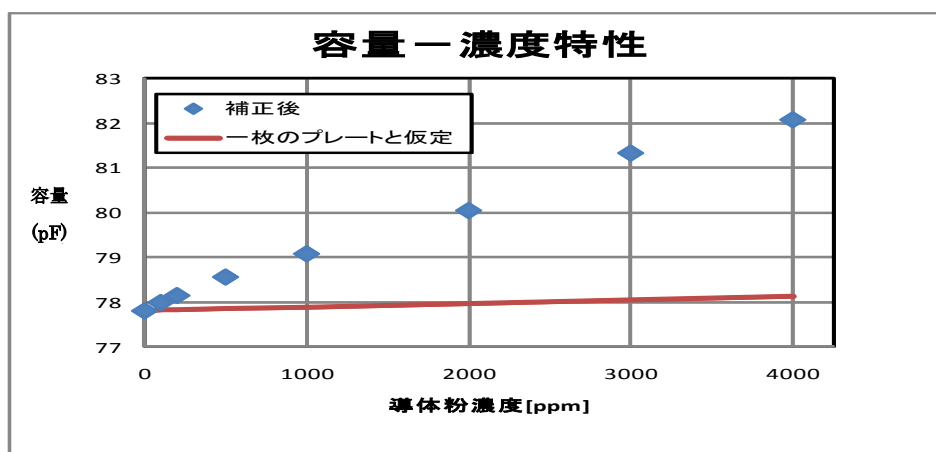
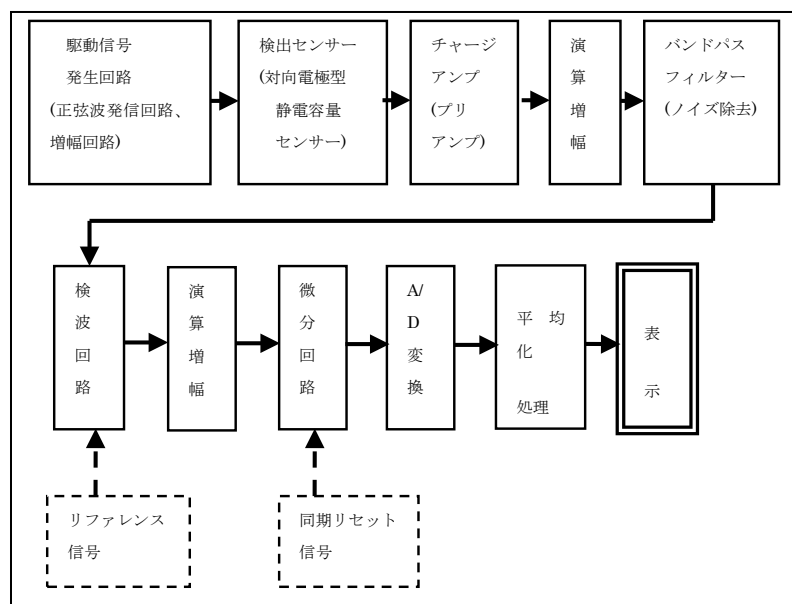


図5 容量の濃度特性の実験結果

3. 4 試作センサー

前項での検討結果に基づき、検出端を対向電極・静電容量式としたセンサーを試作した。ノイズや不安定要素を除去する目的で図6に示す信号処理を行った。

500ppm.vol の非磁性金属を含んだグリスを検体として、図7に示す試作センサーで測定したところ、100ppm.vol の桁の数字が安定していた。従って、本センサーは 100ppm.vol の分解能を有して図6 測定値安定化のための信号処理していると判断できる。



3. 5 まとめ

本事業により、製品実現化の可能性が確認された。今後、電極形状の大型化、信号処理方法の改良を更に進め、製品化を計る計画である。

終わりにあたり関係各位のご協力に心から感謝を致します。



図7 試作・開発されたセンサー