

磁氣檢出素子를 이용한 電子磁氣컴퍼스의 基礎的 研究

安瑛化 · 辛亨鎰* · 白井靖幸**

濟州大學校 · *釜山水產大學校 · **千葉工業大學

(1994년 6월 10일 접수)

Basic Research on an Electro-magnetic Compass Using a Magnetic Detect Elements

Young - Wha AHN, Hyeong - Il SHIN* and Yasuyuki SHIRAI**

Cheju National University

*National Fisheries University of Pusan

**Chiba Institute of Technology

(Received June 10, 1994)

In recent years, navigational and fisheries instruments are rapidly advancing. Especially data processing, data transferring and data interchange throughout the digital signals has been in high progress.

Even though the ship's heading is also provided by a gyro-compass, an electro-magnetic compass studying by us currently is easy to issue adequate data to instruments requiring the information for the ship's heading, especially in small fishing boats.

As the main element of the electro-magnetic compass is a three-axis magnetic sensors, the developing of the high performance sensor is in highly necessity in the beginning.

This paper describes on the development of electro-magnetic compass of three-axis fixed type by using three-axis detection new type magnetic sensor without gimbals, even though usual electro-magnetic compass have to need necessarily a gimbal system in order to keep horizontal condition of the compass.

緒 言

최근, 센서 및 마이크로 컴퓨터를 이용한 自動 制御技術의 발달로 선박의 航法시스템이나 漁業 計測用機器들의 電子化가 급속히 이루어짐에 따라, 이들 機器 상호간의 디지털신호에 의한 情報

의 處理 및 交換, 情報의 集中表示化를 위해서는 선박의 進行方向과 船體의 姿勢를 電子의으로 제공할 수 있는 小型의 高性能 컴퍼스가 요구되고 있다.

지금까지는 이러한 船首方位나 針路情報는, 자이로컴퍼스나 磁氣컴퍼스로 부터 제공되어 왔으

나. 자이로컴퍼스는 작동에서 부터 사용이 가능하기까지는 수시간의 安定期間이 필요하기 때문에 小型漁船과 같이 不特定方向으로의 出入港이 단 시간에 이루어져야 하는 小型船舶에서는 瞬間적인 方位를 알기가 곤란하다. 또한 磁氣컴퍼스인 경우는 指示方位를 自動航法 등에 원격 지시하기 위해서는, 電子의 또는 光學的으로 檢出할 수 있는 부가장치가 필요할 뿐만 아니라, 磁氣緯도의 변화나 船體의 傾斜로 인한 自差 및 傾船差에 대응하기는 곤란하다.

그래서, 최근에는 磁氣센서로 부터 船內磁界를 檢出해서 地磁氣方位를 산출 표시하는 形式의 超小型 電子磁氣컴퍼스(electro-magnetic compass)가 개발되고 있으며, 또한 ISO/TC 8/SC 18에서는 이러한 電子磁氣컴퍼스의 性能 및 基準에 관한 規格化가 현재 進行되고 있다.

그러나, 지금까지의 電子磁氣컴퍼스는 磁氣센서를 gimbal에 의해 水平을 유지하고, 船內의 2軸方向(선수미 및 좌우현 방향)의 水平成分만을 檢出해서 磁氣方位를 산출표시 하는 방식이기 때문에 自差 및 傾船差修正은 平面的으로 하고 있어서, 船體의 傾斜에 따른 船內磁界의 鉛直成分의 변화에 대응한 3次元의인 自差 및 傾船差修正에는 어려움이 있다.

本 研究에서는 이러한 문제점을 해결하는 方法으로 gimbal을 사용하지 않고, 船體에 고정된 3軸 磁氣센서로서 船內 3軸方位의 磁氣成分을 檢出하여 船首 磁氣方位를 산출, 표시할 수 있는 3軸 固定型 電磁磁氣컴퍼스의 개발을 目標로 실

시한 基礎實驗의 결과에 대해 檢討하였다.

裝置 및 方法

1. 實驗裝置

1) 3軸 磁氣센서

磁氣센서에 사용하는 磁氣檢出素子로는 홀素子, 반도체 磁氣抵抗素子, 강자성체 磁氣抵抗素子(MR element)등이 있으나, 본 연구에서는 이들 磁氣檢出素子 가운데, 低磁界에서의 出力性能과 磁界檢知가 반도체 磁氣센서인 InSb 磁氣抵抗素子나 GaAs 홀素子에 비해 좋고, 直線性 및 溫度特性이 우수할 뿐 아니라 超小型化가 가능한 강자성체 磁氣抵抗素子인 MR素子(FSD-20055AY)를 사용하였으며, 그 特性은 Table 1과 같다.

또한, 본 실험에서는 弱磁界에서의 MR素子에 의한 檢出感度和 磁界의 集束效果를 알아보기 위하여 Fig. 1(a)와 같이 1개의 MR素子の 兩側上에 퍼멀로이드 棒($\phi 3mm$)을 각각 길이 5, 10, 20, 30, 40, 50mm 별로 密着시켜 퍼멀로이드 棒의 길이가 길수록 出力이 크게 되게 되지만 길이가 너무 커지게 되면 주변 磁界에 의한 攪亂의 문제가 있기 때문에 본 실험에서는 MR素子만 사용했을 때 보다 약 3배 정도의 出力을 얻을 수 있는 길이 10mm의 퍼멀로이드 棒($\phi 3mm$)을 사용해서 Fig. 1(b)와 같이 각 센서가 서로 直交하는 3軸 自己센서를 만들기 위하여 MR素子の 兩側面에 1번이 10mm인 정사각 블록 퍼멀로이드(10×

Table 1. Characteristics of MR element(FSD - 20055AY : Fujitsu)

Characteristics	Requirements	Performance
Rated current		5mA (max 10mA)
Usage Temperature		-30~80℃
I/O Resistance	Hex=0 μ T	800±200 Ω
Product Sensitivity	Hex=2500 μ T, I=5mA	(2.5±0.5)×10 ⁻² mV/mA/ μ T/ Ω
Hysteresis	Hex=±2500 μ T, I=5mA	0.5% >
Saturation Flux Density		5000 μ T <
Temperature Coefficient of Product Sensitivity	Hex=2500 μ T, I=5mA	-0.12±0.02%/℃

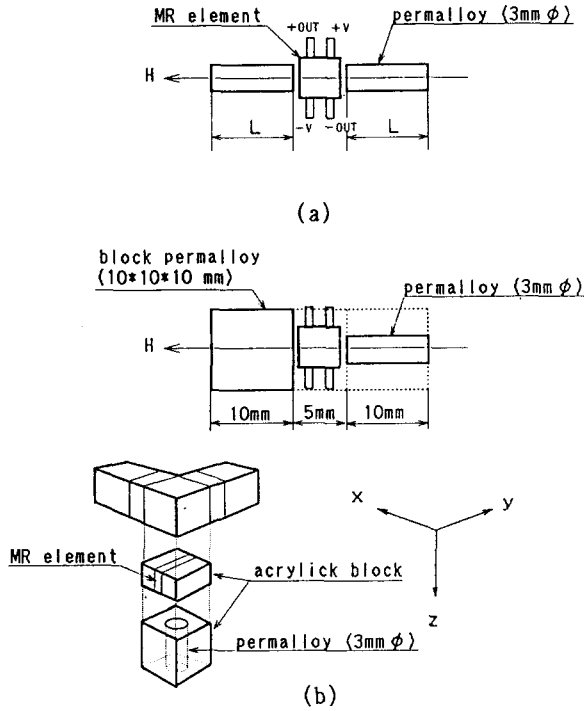


Fig. 1. Method of magnetic convergence with permalloy(a) and 3-axis-detection type magnetic sensor(b).

10×10mm)와 직경 3mm의 퍼멀로이드 봉을 각각 1개씩 접착시킨 1축 磁氣센서를 만들었으며, 이것을 다시 3축(X, Y, Z)방향으로 서로 直交하도록 조합해서 3축 磁氣센서를 構成했다.

2) 驅動 및 增幅回路

實驗에 사용한 MR素子와 퍼멀로이드에 의한 磁界의 集束과 出力感度を 높이기 위하여 Fig. 2과 같이 增幅回路를 設計, 構成하였다.

여기서 實驗에 사용한 MR素子의 積感度は, $2.5 \times 10^{-2} mV/mA/\mu T/\Omega$ 이기 때문에 定電流驅動 5mA, 入力抵抗 800Ω일때, 測定磁界를 10μT로 한다면, 그 出力은 0.0625mV를 얻을 수 있다.

따라서, 地磁界의 측정범위를 磁氣赤道로부터 南北磁氣緯度 60°까지의 水平成分과 鉛直成分 크기에 해당하는 磁場의 세기인 10μT 부터 ±60μT 까지로 해서, 미리볼터메터로 측정이

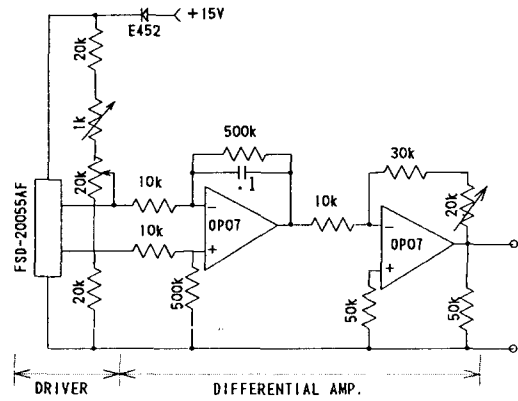


Fig. 2. MR-element driver and differential amplifier circuit.

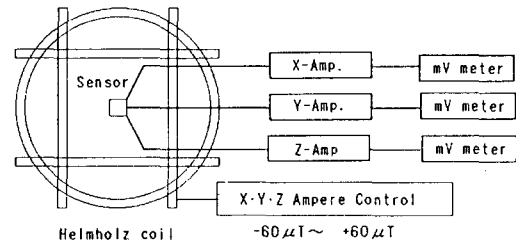


Fig. 3. Block diagram of measuring method.

가능한 범위까지 增幅시킬 수 있도록 하였으며, 이때 60μT에서 0.375mV의 出力을 얻을 수 있기 때문에, 퍼멀로이드의 磁氣集束效果를 포함하면, 1,000배(60dB) 정도까지 出力을 얻을 수 있도록 MR素子와 抵抗브리지回路로 構成해서 설계했다. 또한, 定電流 다이오드로 5mA를 공급해서 可變抵抗으로 0點補正을 하였으며, 그 출력을 처음에는 OP.Amp.로 構成한 差動增幅回路로 50倍增幅하고, 그 다음에는 OP.Amp. 3개로 MR素子의 出力特性을 일정하도록 可變增幅回路를 構成하였으며, 測定裝置는 Fig. 3과 같다.

2. 船首磁氣方位의 算出理論

船上에서 측정되는 磁氣, 즉 船內磁氣는 地磁氣와 船體에 만들어진 磁氣의 合成으로 이루어지기 때문에, 船體에 만들어진 磁界를 측정 한다면, 측

정된 船內磁氣의 값으로 부터 船首磁氣方位를 구할 수 있다.

여기서, 船體座標系와 地球座標系가 동일 하다고 했을때 (rolling과 pitching이 없는상태), 船

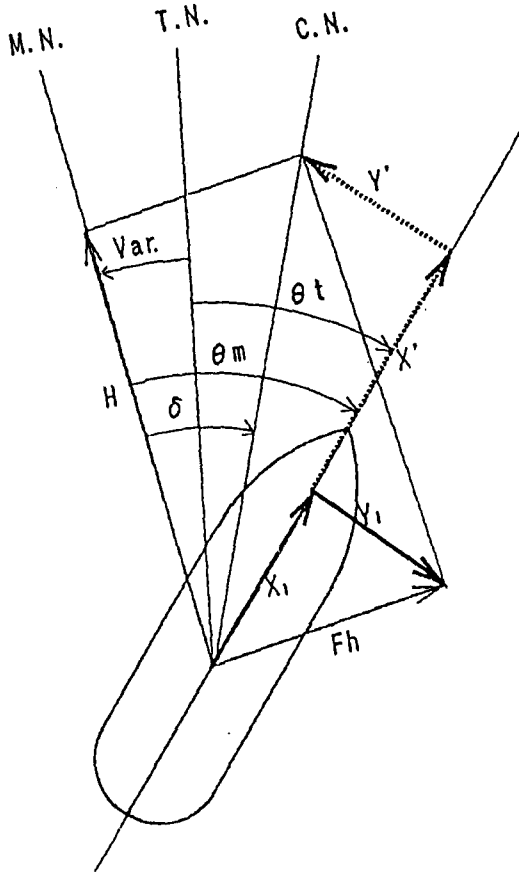


Fig. 4. Geometrical relations between geomagnetism and ship's magnetism.

M.N. : Magnetic north, T.N. : True north, C.N. : Compass north, θ_t : True course, θ_m : Magnetic course, Var. : Variation, δ : Deviation, H : Horizontal component of geomagnetic field.

X_1, Y_1 : x, y axis component of ship's magnetic field.

X', Y' : x, y axis component of total magnetic field.

Fh : Horizontal component of ship's magnetic field.

首方向을 x축, 右舷方向을 y축, 甲板面垂直下方을 z축 이라 한다면, 船體에 만들어진 磁氣의 x, y, z축 方向의 分力은 각각 X_1, Y_1, Z_1 이 되며 船體에 만들어진 磁氣의 水平分力 Fh는 Fig. 4에 나타낸 바와 같이, 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$Fh = \sqrt{X_1^2 + Y_1^2}$$

또한 船體에 만들어진 磁界의 全磁力 F는,

$$F = \sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}$$

여기서, 船首磁氣方位를 θ_m 라고 한다면 地磁氣는 水平分力 H와 鉛直分力 Z로 나누어지기 때문에 x, y, z축 方向의 地磁氣의 成分 X, Y, Z는

$$H \text{의 船首方向의 分力 } X = H \cos \theta_m$$

$$H \text{의 右舷方向의 分力 } Y = -H \sin \theta_m$$

$$H \text{의 鉛直方向의 分力 } Z = Z$$

가 된다.

또한, 船體의 3軸 方向에서 측정된 磁界는 地磁氣와 船體磁界의 合成이기 때문에, 측정된 船內磁界를 X', Y', Z' 라 하면,

$$X' = X + X_1$$

$$Y' = Y + Y_1$$

$$Z' = Z + Z_1$$

이 된다.

위 식에서, 船體에 만들어진 磁氣 X_1, Y_1, Z_1 을 poisson 方程式으로 나타내면

$$X_1 = a \cdot X + b \cdot Y + c \cdot Z + P$$

$$Y_1 = d \cdot X + e \cdot Y + f \cdot Z + Q$$

$$Z_1 = g \cdot X + h \cdot Y + k \cdot Z + R$$

가 된다.

여기서, 船體에 만들어진 磁氣는 誘導磁氣成分의 係數인 $a \sim k$ 와 永久磁氣成分의 크기인 P, Q, R의 合成으로 이루어 지기 때문에, 이 두 값은 測定值에 의한 自差 δ 의 算出方法으로 구해진다.

따라서, 3軸 磁氣센서에 의해 측정된 船內磁界

로 부터 地磁氣의 각 成分에 의해 算出된 船體에 만들어진 磁氣를 빼면 船首磁氣方位 θ_m 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\theta_m = \tan^{-1}(-Y/X)$$

가 된다.

3. 實驗方法

磁氣檢出素子を 이용한 電子磁氣 컴퍼스의 개발을 목표로 MR素子の 퍼멀로이드에 의한 磁氣 센서의 出力과 指向特性을 알아보기 위해서 다음과 같이 기초적인 實驗을 실시하였다.

1) 磁界의 集束도와 指向性

MR素子は 電流驅動素子로, 低磁界에서의 出力電壓이 작다. 따라서 出力을 電子的으로 增幅하는 것은 쉽지만 雜音 문제가 있기 때문에 精度를 향상 시키기 위해서는 磁界를 集束해서 增幅도를 최소한으로 억제하는 방법이 필요하다. 본 실험에서는 直徑 3mm인 45퍼멀로이드 棒과 78퍼멀로이드 棒을 Fig. 1(a)와 같이 MR素子の 兩端에 각각 1개씩 密着시킨 1軸 磁氣센서와 Fig. 1(b)와 같이 정4각 블록 퍼멀로이드(10×10×10mm)와 45퍼멀로이드(L: 10mm, ϕ : 3mm)棒을 接着시킨 3軸 磁氣센서를 제작해서, 磁界의 集束도와 指向性을 측정하였다.

2) 3軸 磁氣센서의 出力特性

Fig. 1(b)와 같이 MR素子和 퍼멀로이드를 3軸(X, Y, Z)으로 組合한 磁氣센서의 磁界强度和 出力特性을 측정하기 위하여 Fig. 4과 같이 測定裝置를 構成하였으며, 磁氣센서는 3軸 helmholtz coil의 中央에 설치하였다. 이 때 磁氣센서의 檢出軸과 각 coil에서 발생하는 磁力線이 일치하도록 하였으며, 각 센서마다 $-60\mu T \sim +60\mu T$ 까지, 磁界를 변화시킬 수 있도록 3個의 磁氣센서의 出力을 동시에 조정했다.

3) 3軸 磁氣센서의 旋回試驗

본 실험에서 製作한 3軸 磁氣센서의 旋回時

出力特性을 알아보기 위해서 센서를 0°에서 360°까지 方位 눈금이 표시된 回轉台上 中央에 설치하고, 回轉台를 回轉시키면서 매 15°마다, 디지털 볼트 미터에 표시된 出力電壓을 읽었다.

結果 및 考察

1. 集束도와 指向性

퍼멀로이드에 의한 MR素子の 磁氣集束效果는 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 45퍼멀로이드가 78퍼멀로이드 보다 出力倍率이 조금 높게 나타나고 있으며, 길이 30mm부터 飽和하고 있음을 알 수 있다. 또한 磁氣集束倍率は 直徑 3mm의 퍼멀로이드에서는 6배 정도까지 나타남을 알 수 있다.

Fig. 6은 MR素子の 指向特性을 나타낸 것이다. 여기서 點線으로 표시된 것이 MR素子の 兩端에 블록 퍼멀로이드와 45퍼멀로이드(L: 10mm, ϕ : 3mm)로 組成한 것으로서, 길이 10mm의 45퍼멀로이드로만 構成한 것 보다 磁氣의 集束效果가 크게 나타남을 알 수 있다. 또한, 그림상에는 표시되지 않았지만 매 15°마다의 出力인 測定點은 圓線上에 있으며, MR素子の 出力信號는 南北方向에서 最大로 거의 均等한 指向性을 나타내고 있다.

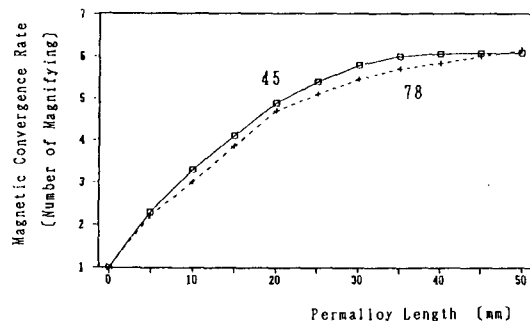


Fig. 5. Relation between length of permalloy and magnetic convergence rate.

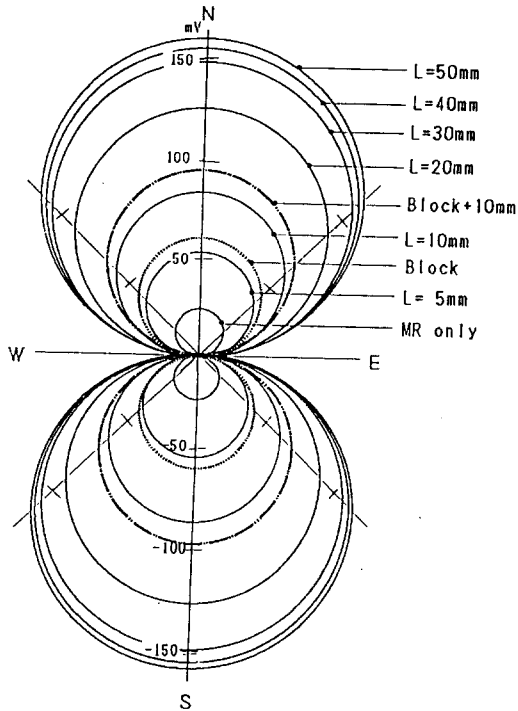


Fig. 6. Directional pattern and output voltage with each type of sensor.

2. 出力特性

Fig. 7은 helmholtz coil內에서의 3軸 磁氣센서의 出力特性을 나타낸 것으로서, 印加磁界 $\pm 60\mu T$ 범위내에서는 直線性이 充分함을 알 수 있으며, MR素子の 出力電壓의 크기는 각 센서에 供給하는 電流의 調整으로 精密度를 높일수 있기

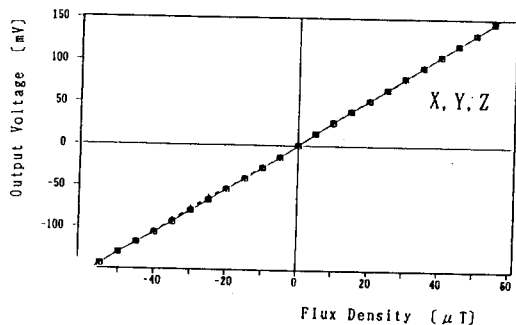


Fig. 7. Relation between flux density and output voltage of 3-magnetic sensor.

때문에, 이번에 製作한 3軸 磁氣센서가, 향후 개발을 目標로한 電子磁氣컴퍼스의 方位센서로서 有效함을 확인할 수 있었다.

3. 旋回特性

Fig. 8은 3軸 磁氣센서를 回轉台上 중앙에 놓고, 360° 回轉시켰을때, 매 15° 마다의 出力特性을 나타낸 것으로서, 센서를 回轉台上 水平面內에서 回轉시켰기 때문에 3軸 센서 모두 그 出力이 一定하게 나타나야 되지만, 본 실험에서는 X-Y軸은 그 出力變動이 거의 一定하게 나타나고 있어서, 각 軸間의 直交性이 확보됐음을 알 수 있다. 그러나 下方으로 向한 Z軸 센서인 경우는 약 3% 정도의 出力變動이 나타나고 있어서 각 軸 組合時 直交誤差가 있음을 알 수 있다.

그러나, 이 정도의 直交誤차는 실질적인 磁場의 變動 $1\mu T$ 이하의 범위이기 때문에 實用적으로는 별 문제가 없다고 생각된다.

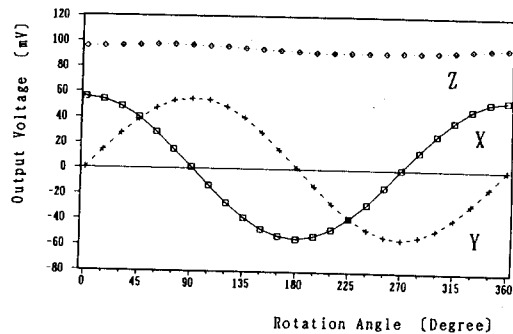


Fig. 8. 3-axis rotation test results(rotation in the xy plane).

要 約

磁氣檢出素子로서, MR素子和 퍼멀로이드로 構成한 3軸 磁氣센서의 出力 및 指向特性을 試驗한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1) MR素子を 퍼멀로이드와 組合한 磁氣檢出 센서로 構成했을때, 磁氣集束效果가 크게 나타났으며, 磁界感度의 直線性이 우수하기 때문에 低磁

界에서도 檢出이 가능한 電子磁氣컴퍼스의 센서로서 有效하였다.

2) MR素子로 測定된 磁氣는, 퍼멀로이드를 사용한 物理的인 增幅이 가능하기 때문에 노이즈의 원인이 되는 增幅器의 增幅度를 最小化할 수 있는 設計가 가능하였다.

3) MR素子和 퍼멀로이드를 組合한 3軸 磁氣센서로 構成했을때도 센서의 크기가 $30 \times 30 \times 30mm$ 이내의 小型化가 가능하였다.

이상의 結果로 부터, MR素子를 이용한 3軸 磁氣센서는 精度가 높고, 直線性이 우수할 뿐만 아니라, 小型化가 가능하기 때문에 電子磁氣컴퍼스의 方位檢出센서로서 充分하다고 思料된다.

參考文獻

- 1) B.J.Lynch and H.R.Gallantree(1990) : A new magnetic sensor technology. GEC Journal of Res. Vol. 8, No. 1, 13-20.
- 2) 宮本佳則, 白井靖幸, 齊藤清隆(1988) : 홀素子を用いた3軸固定型電子コンパスの試作. 日本航海學會論文集, 80號, 55-61.
- 3) 白井靖幸, 齊藤清隆, 鈴木裕(1986) : 3軸磁界測定器による船内磁界測定. 日本航海學會論文集, 74號, 139-146.