

これからの航法に向けた レジリエント・ナビゲーションの役割

新井 康夫

国際航法学会 IAIN 会長

IAINとは

- ✕ 1957年からIAIN発足以前、英・米・独で、国際的に航法に関する協議する組織が必要。IMCOへ通行分離を提言・実現。
- ✕ 1975年英・米・独に加え、豪・仏・伊・日が加わり、IAIN総会が開催、IAINの活動が始まる。
- ✕ IAINは、陸上、海上、航空・宇宙における航法の普及を目的とした国際非営利民間団体。
- ✕ IMO, ICG, ICAO, IHO, US PNT advisory committee, ITU* へのオブザーバー委員派遣
- ✕ 1976年以降3年ごとに総会と世界大会を開催
- ✕ 2018年が、IAIN総会と世界大会が16回目を迎える。
(1985年東京開催)

レジリエントとは

× (レジリエント)

Resilient = しなやかな、回復力に富む、すぐに元気になる

× 物理学

ストレス「外力による歪み」



レジリエンス「外力による歪みを跳ね返す力」

× 精神医学

脆弱性 (Vulnerability) の反対の概念 =
自発的治癒力 回復力・抵抗力・耐久力

× ロバスト Robust 堅牢性、強靱性、頑強性 生物学・情報工学・統計学・経済学・制御工学

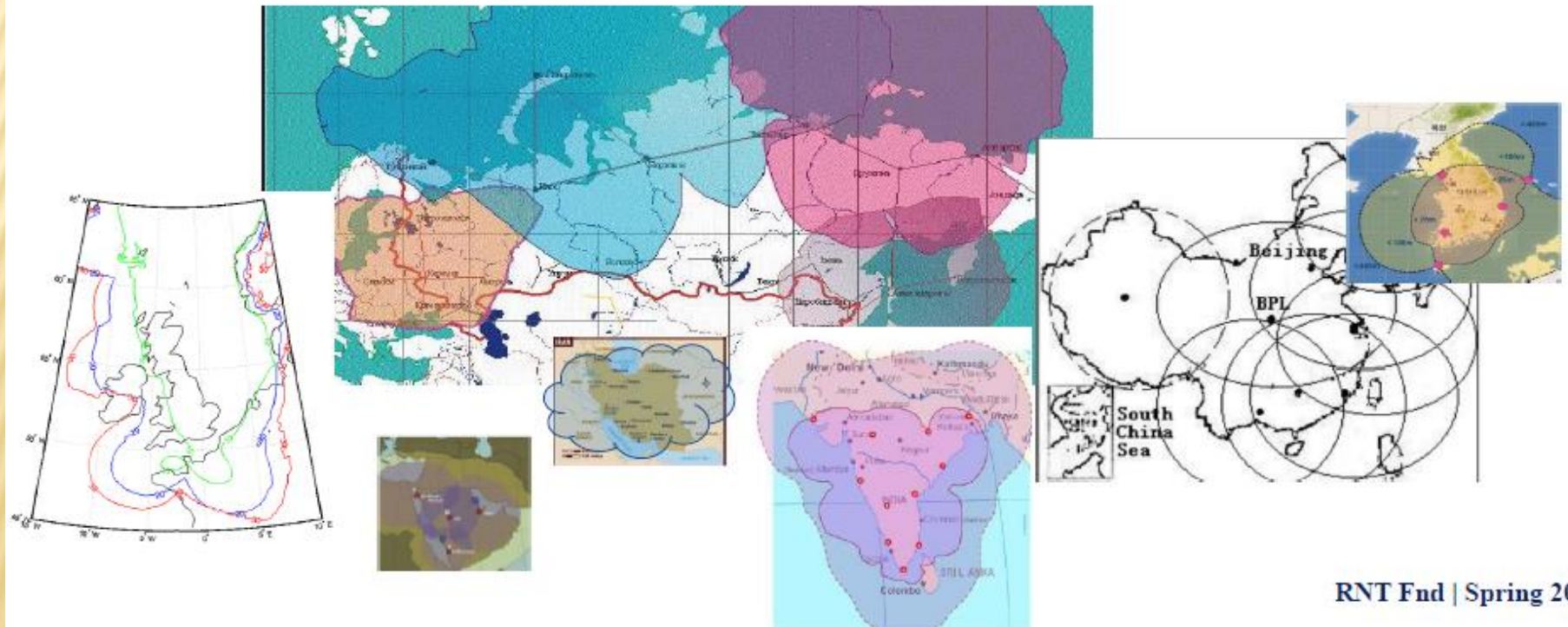
RESILIENT PNTの流れ

- × 1996年 GPS正式運用開始
GPSの脆弱性に対応するため、地上波測位システムの活用
→ Loran C、DECCAを対象とする
- × 2000年 GALILEO構想発表 USA SA解除
- × 2006年 eLoran検討
Loran C、Chykaなどを運営しているロシア・中東・インド・中国
- × 2014年 英国を中心に、フランス・ドイツ・ノルウェイでのeLoran試験運用
韓国が2001年の北朝鮮からのジャミング対策でeLoran設置・運営開始

- × Resilient PNT Forum
- × 2014年 4月 第1回ロッテルダム ENC2014
- × 2015年 1月 第2回ダナ・ポイント ION ITM2015
- × 2015年 5月 第3回ボルドー ENC2015
- × 2015年10月 第4回プラハ IAIN WC2015
- × 2016年 5月 第5回ヘルシンキ ENC2016
- × 2016年11月 第6回グラスゴー INC2016
- × 2017年11月 第7回INC2017

ELORAN • LORAN C

Global Action



RNT Fnd | Spring 2014

RESILIENT PNTの流れ

- × 1996年 GPS正式運用開始
GPSの脆弱性に対応するため、地上波測位システムの活用
→ Loran C、DECCAを対象とする
- × 2000年 GALILEO構想発表 USA SA解除
- × 2006年 eLoran検討
Loran C、Chykaなどを運営しているロシア・中東・インド・中国
- × 2014年 英国を中心に、フランス・ドイツ・ノルウェイでのeLoran試験運用
韓国が2001年の北朝鮮からのジャミング対策でeLoran設置・運営開始

- × Resilient PNT Forum
- × 2014年 4月 第1回ロッテルダム ENC2014
- × 2015年 1月 第2回ダナ・ポイント ION ITM2015
- × 2015年 5月 第3回ボルドー ENC2015
- × 2015年10月 第4回プラハ IAIN WC2015
- × 2016年 5月 第5回ヘルシンキ ENC2016
- × 2016年11月 第6回グラスゴー INC2016
- × 2017年11月 第7回INC2017

RESILIENT PNTの方向性

× 測位・航法・時刻 PNTにおけるレジリエント

(1) マルチGNSS

GNSS	GPS	GLONAS	GALILEO	COMPAS
RNSS	QZSS	IRNSS		

(2) マルチセンサー

- × 地上波測位システム eLoran、eDLoran
- × Rモード レーダ、AIS、モバイルデータ通信
- × 慣性航法システム IMU

RESILIENT NAVIGATION



航法システムの能力

- × 精度
- × インテグリティ
- × 連続性
- × 時間遅れ Latency
- × 有効範囲

- × 脆弱性

航法システムの脆弱性

× GNSSにおいて

- + 信号強度 >> 妨害波 ?
故意・人口雑音・自然雑音・異常現象
- + 対応策
- + 受信アンテナビーム幅を小さくする。（受信ANTゲインを上げる）
- + 妨害波を排除する。=> マルチGNSS

× センサー

- + 複合カルマンフィルタによる互いのインテグリティをモニタ、精度の補間 => マルチセンサー

なりすまし・ジャミング

What is the Resilient PNT and Why is it essential?

Spoofing example

Professional Car Thief – Toolkit



Is IMU able to protect Spoofing ?

👉 なりすまし

ジャミング 🖱️

What is the Resilient PNT and Why is it essential?

Jamming Simulation



How long is IMU able to protect from Jamming by only one 100 w Jammer?
The radius of Blue circle is approximately 10 km at Rochester near the outlet of the Thames.

航法システムの脆弱性

× GNSSにおいて

- + 信号強度 >> 妨害波 ?
故意・人口雑音・自然雑音・異常現象
- + 対応策
- + 受信アンテナビーム幅を小さくする。(受信ANTゲインを上げる)
- + 妨害波を排除する。=> マルチGNSS

× センサー

- + 複合カルマンフィルタによる互いのインテグリティをモニタ、精度の補間 => マルチセンサー

MEMS IMU 高精度慣性ユニット



複合航法 (GPS/INS/VS) 精度※1

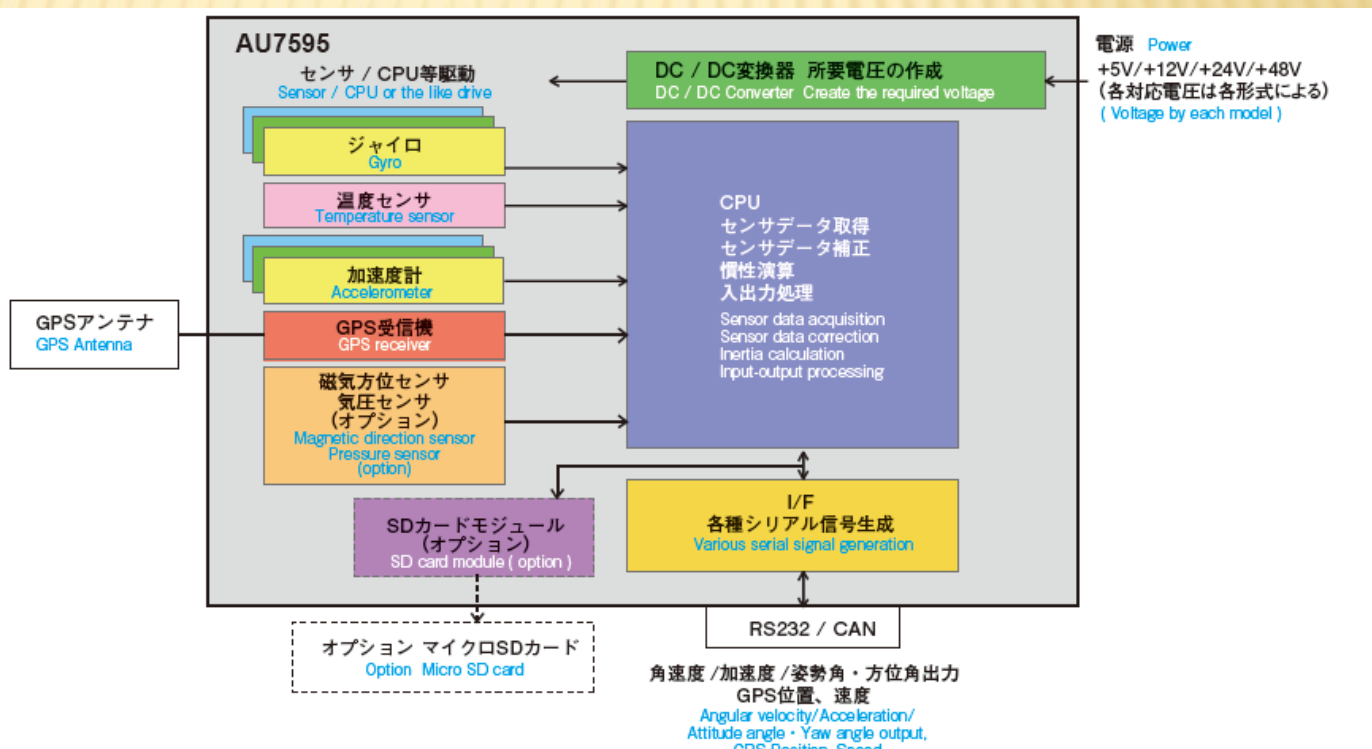
項目 Item	仕様値 Specifications	備考 Remarks
角速度バイアス Angular velocity bias	0.05 deg/s rms	pACC 2m以下の受信環境下 10km/h以上で移動した場合 When traveling at a speed of 10 km / h or more in a receiving environment of pACC 2 m or less
加速度バイアス Accelerometer bias	0.049 m/s ² rms(5mG)	
姿勢角精度 Attitude angle accuracy	0.5 deg rms	
真方位角精度 True azimuth accuracy	1 deg rms	
位置精度 Position accuracy	2.5m CEP	

GNSS遮断100秒間の自律航法 (INS/VS) 精度※1

項目 Item	仕様値 Specifications	備考 Remarks
角速度バイアス Angular velocity bias	0.05 deg /s rms	pACC 2m以下の受信環境下 10km/h以上で3分移動しキャ リブレーションを行った場合 When calibration is performed after moving for 3 minutes at a speed of 10 km / h or more in a receiving environment of pACC 2 m or less
加速度バイアス Accelerometer bias	0.049 m/s ² rms(5mG)	
姿勢角精度 Attitude angle accuracy	0.5 deg rms	
真方位角精度 True azimuth accuracy	1 deg rms	
位置精度 Position accuracy	5m CEP	

※1 カルマンフィルタを用いた複合航法結果であり、使用環境によっては精度が悪化する場合があります。

※1 It is composite navigation using the Kalman filter, accuracy may deteriorate depending on usage environment.



おわりに

- × 複数のシステム・センサを用いて、
 - + 単独でのインテグリティを改善できる。
 - + それぞれの特徴を利用し、強いシステムより弱いシステムの補強を常時することにより、万一の時のデータ保全に役立つ。
- × 航法支援システムは、インフラを含め開発・設置・運営に多くのコストが要求されます。
- × 実現するには、如何に多くのユーザーを得ることが必要不可欠です。この活動力は、単なる財源の問題ではなく、ユーザーが多いことである。
- × 自動航行、自律航法へ向けた開発のみならず、現在の航行にも、安全・安心・経済性の向上に期待する。

ELORANの運営費

The Financial Cost of eLoran



- Modern eLoran transmitter purchase = \$4,000,000
- Running cost of an eLoran transmitter = \$500,000 per year
- DLoran Reference Station purchase = \$100,000
- DLoran Reference Station running cost = \$3,000 per year
- Monitor and Control Station purchase = \$32,000
- ASF Survey (1 per Ref Stn.) = \$25,000
- 1 GPS Satellite launch = \$450,000,000

For the cost of 1 GPS satellite launch we could buy:

**25 eLoran transmitters
100 DLoran Reference Stations
And run them for 20 years!**

おわりに

- × 複数のシステム・センサを用いて、
 - + 単独でのインテグリティを改善できる。
 - + それぞれの特徴を利用し、強いシステムより弱いシステムの補強を常時することにより、万一の時のデータ保全に役立つ。
- × 航法支援システムは、インフラを含め開発・設置・運営に多くのコストが要求されます。
- × 実現するには、如何に多くのユーザーを得ることが必要不可欠です。この活動力は、単なる財源の問題ではなく、ユーザーが多いことである。
- × 自動航行、自律航法へ向けた開発のみならず、現在の航行にも、安全・安心・経済性の向上に期待する。

ご清聴ありがとうございました。

新井康夫
