

高度な海洋調査に向けた海洋無人機システム

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

海上技術安全研究所

次世代海洋無人機PT

金岡秀

高度な海洋調査に向けた海洋無人機システム

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所 金岡秀



無人化・省人化の時代

- ① 少子・高齢化による労働人口減少
- ② 生産性向上
- ③ 労働環境の改善や安全性向上

第4次産業革命

- IoTやAIを用いることで起こる産業革新* *内閣府HPより：https://www5.cao.go.jp/keizai3/2016/0117nk/n16_2_1.html
- ① 大量生産・画一的サービス提供から個々にカスタマイズされた生産・サービスの提供
- ② 既に存在している資源・資産の効率的な活用
- ③ **AIやロボットによる、従来人間によって行われていた労働の補助・代替などが可能となる**

海洋無人機

- AUV(Autonomous Underwater Vehicle), ASV(Autonomous Surface Vehicle)等
次世代の海洋空間利用・開発の主役として、その活用が急激に進んでいる

米国

- DASH (Distributed Agile Submarine Hunting) program: DARPA¹⁾
- REMUS (Remote Environmental Monitoring UnitS) program: ONR²⁾, WHOI
- LBS-G (Littoral Battlespace Sensing-Glider) program: U.S. Navy and Teledyne
- LDUUV (Large Displacement UUV) program: U.S. Navy

¹⁾DARPA : Defense Advanced Research Projects Agency

²⁾ONR : Office of Naval Research

EU

• Horizon 2020における主要プロジェクトとして実施

- ROBUST (Robotic subsea exploration technologies)
- IAUVcontrol (Force/position control system to enable compliant manipulation from a floating I-AUV)
- VERTEX (Swarms of underwater robots for fast & accurate water quality measurements)
- ENDURUNS (Development and demonstration of a long-endurance sea surveying autonomous unmanned vehicle with gliding capability powered by hydrogen fuel cell)
- BugWright2 (Autonomous robotic inspection and maintenance on ship hulls and storage tanks)
- AlforUTracking (Artificial Intelligence methods for Underwater target Tracking)

政策に関する取り組み

- 第4期海洋基本計画（令和5年4月）
 - ① 総合的な海洋の安全保障
 - ② 持続可能な海洋の構築
- AUV戦略プロジェクトチーム
 - 海洋無人に関する研究開発や実証を後押しする
 - 総合海洋政策本部参与会議内に設置
 - 国の海洋無人機戦略を統括

研究開発に関する取り組み

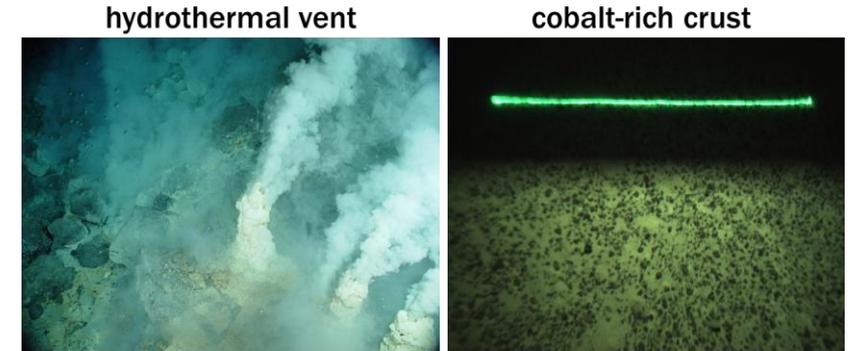
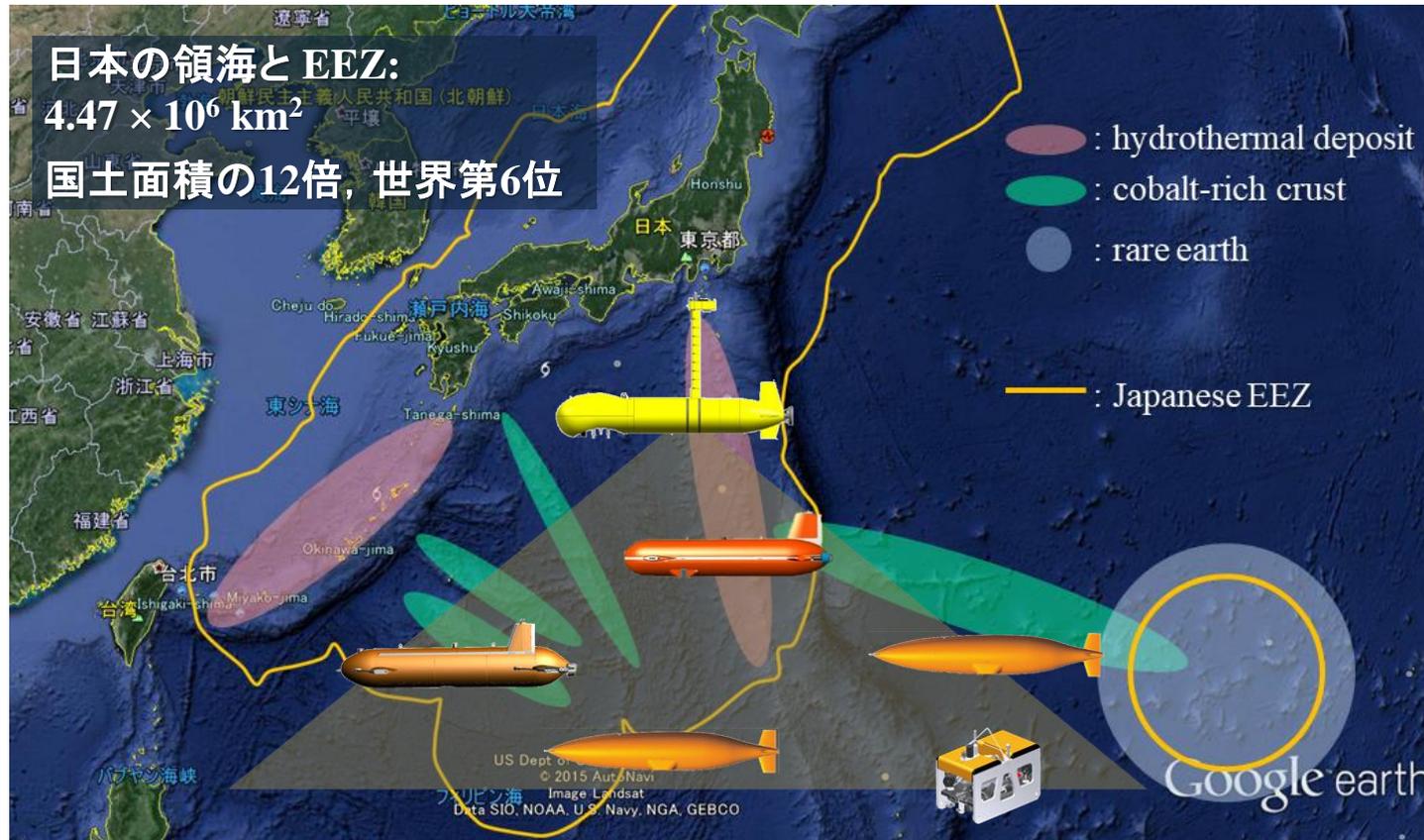
- 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第3期
 - 海洋安全保障プラットフォームの構築 → SIP第1, 2期に引き続き、海洋無人機は主要研究課題
- 経済安全保障重要技術育成プログラム(Kプロ)
 - 海洋無人機関連の課題：無人機技術を用いた効率的かつ機動的な自律型無人探査機(AUV)による海洋観測・調査

海洋無人機に関する海技研の取り組み： SIP第1期

- SIP第1期次世代海洋資源調査技術（海のジパング計画）
 - AUV複数機同時運用手法等の研究開発



戦略的イノベーション創造プログラム
Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program



- benthic mineral resources in Japanese water

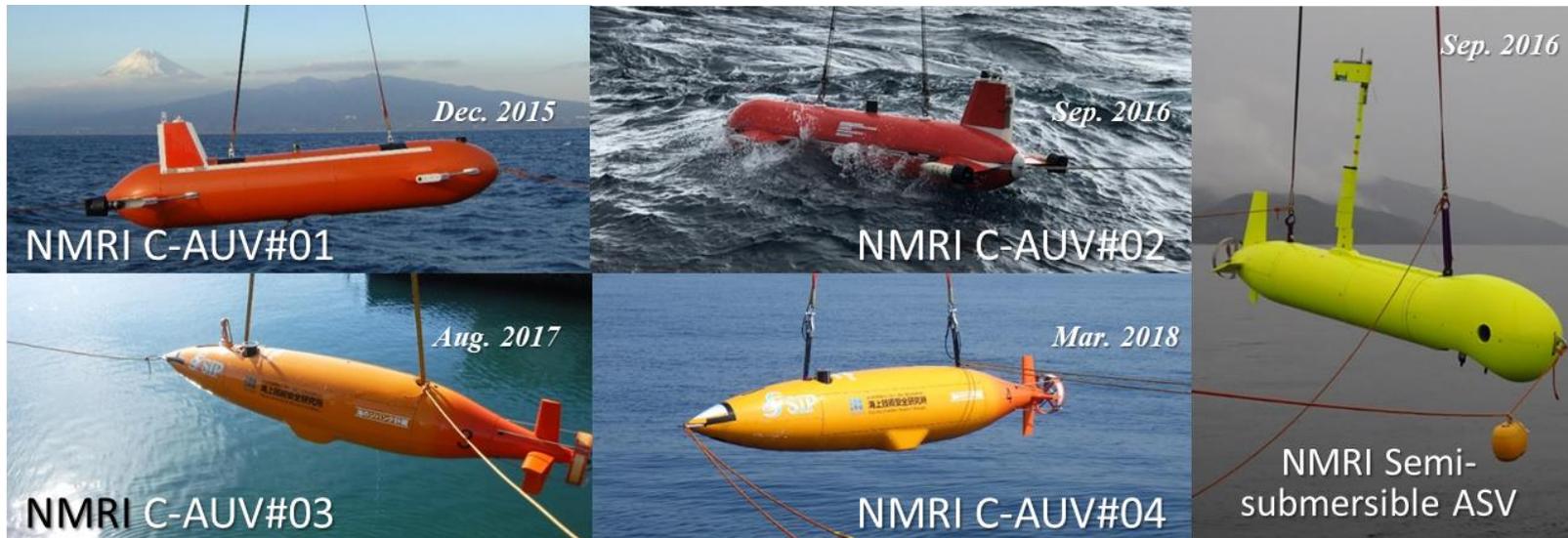
* Source: Japan Project-Industry Council

estimated deposit	available	value
hydrothermal deposit	$750 \times 10^6 \text{ ton}$	$450 \times 10^6 \text{ ton}$ 0.67 trillion USD
cobalt-rich crust	$2.4 \times 10^9 \text{ ton}$	$1.1 \times 10^9 \text{ ton}$ 0.83 trillion USD

+ Japan's GDP in 2022: 4.91 trillion USD (IMF)

- SIP第1期のもとで開発

- 複数AUV同時運用による高効率の海底資源探査に資する調査ユニット



- AUV : 探査機
- ASV : 管制機

⌘ 小型・軽量

⌘ 船を選ばない

	dimensions (m)	mass (kg)	depth rating (m)	speed (m/s)	main payload
NMRI C-AUV #01	3.9×0.65	780	2000	1.5	PSBP ¹⁾
NMRI C-AUV #02	3.6×0.6	620	2000	1.5	MBES ²⁾
NMRI C-AUV#03, 04	3.9×0.65	545	2000	2.2	MBES ²⁾
H-AUV Hobalin	1.2×0.7×0.76	270	2000	0.4	camera, CTD ³⁾
NMRI Semi-submersible AUV	4.0×0.58×2.7	730	-	1.5	-



- 1)PSBP : Parametric Sub-Bottom Profiler
- 2)MBES : Multi-Beam Echo Sounder
- 3)CTD : Conductivity, Temperature & Depth

NMRI航行型AUV4号機

- ▶ 3号機と共に海技研航行型AUVの主力機
- ▶ 民間からの利用で事業ベースの海底資源探査に実戦投入
- ▶ 高速・高運動性の機体性能

日本船舶海洋工学会主催のシップ・オブ・ザ・イヤー
2018にて海洋構造物・海洋機器部門賞を受賞

SiP 戦略的イノベーション創造プログラム
Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program



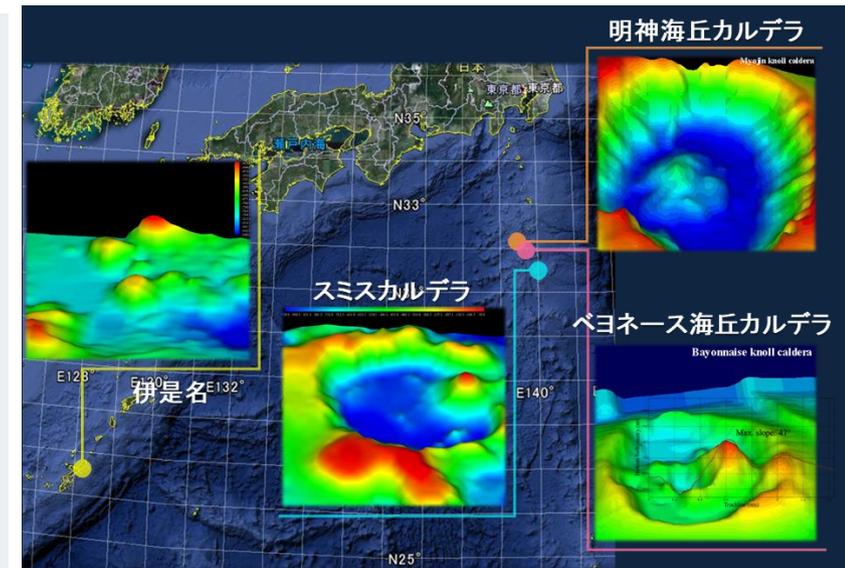
海洋構造物・海洋機器部門賞

船名 NMRI航行型AUV4号機

建造会社 株式会社海洋工学研究所

コメント

本機は海上技術安全研究所の航行型AUVの主力機で、国の研究・開発プロジェクト「SIP次世代海洋資源調査技術」のもとで開発された。最大ピッチ角 80° 最大速度 6.5 ノット等の優れた機体性能に加え、調査効率を飛躍的に向上できる複数機AUV同時展開が可能な運用体制を備えている。広大なEEZの高効率で高精度な海洋調査を実現する先進的プラットフォームである。

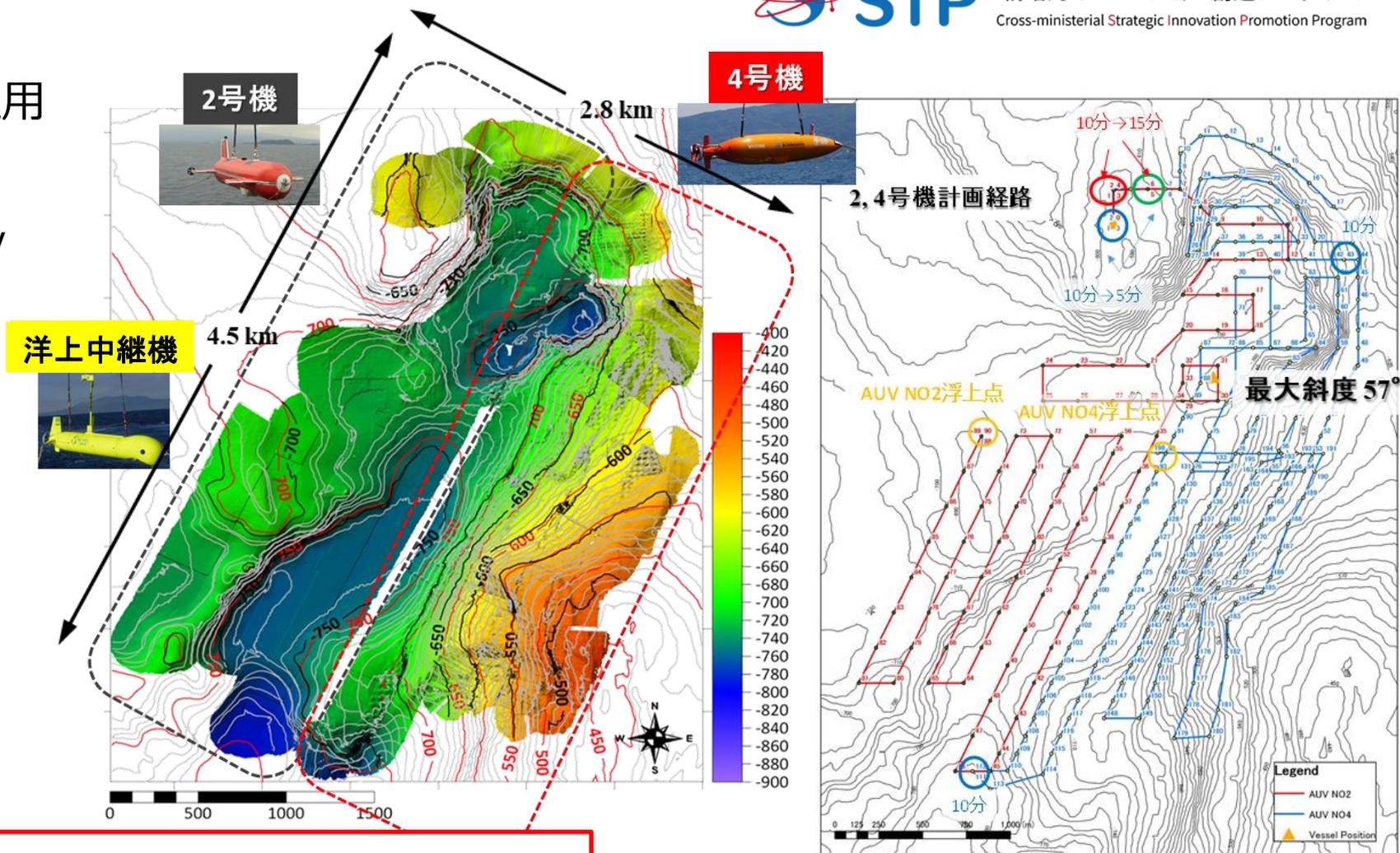
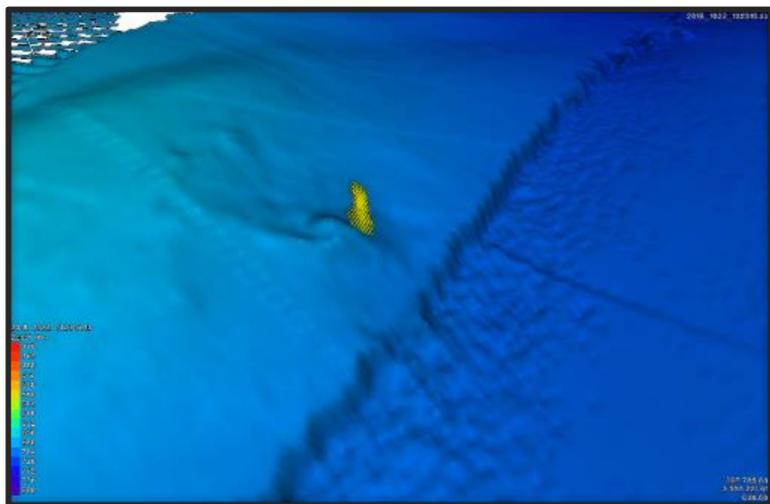


日本船舶海洋工学会HPより

<https://www.jasnaoe.or.jp/soy/2018.html?id=soy09>

伊豆諸島海域潜航調査 (SIP第1期)

- ▶ 民間主導の海底熱水鉱床調査
- ▶ 複数機のAUVを同時に展開・運用
- ▶ 機体特性に合わせた複数機運用
 - 優れた運動性能のNMRI航行型AUV 4号機を急斜面部に展開



高効率・高精度の海底地形調査や海底熱水活動の検知に成功

● 革新的深海資源調査技術

- 複数AUV隊列制御技術の研究開発

安全確保と管理のため、潜航中のAUVには有効な音響通信・測位を提供する必要がある

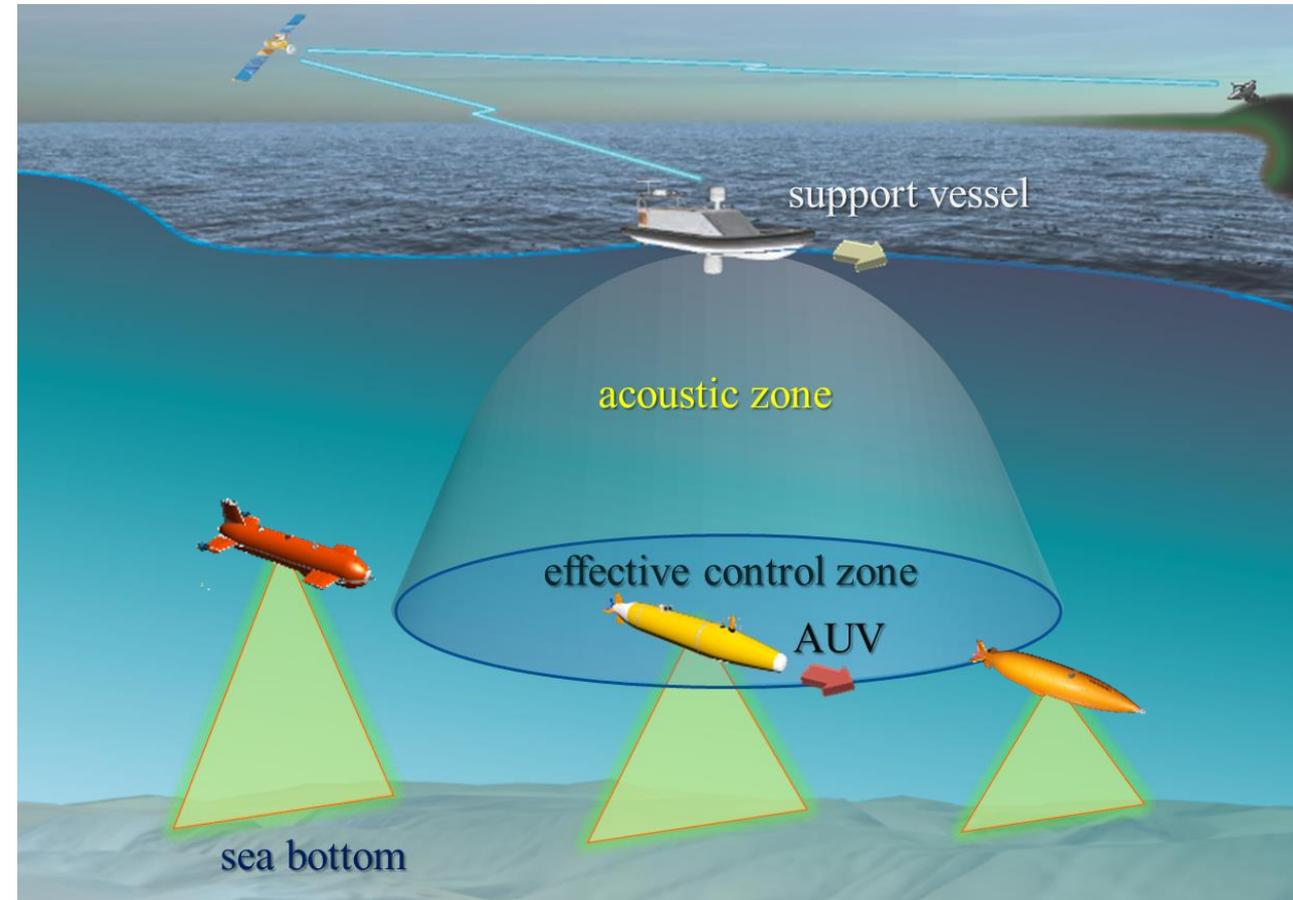
ところが、AUV各機の個体差や外乱等の要因で、同時潜航中の複数AUV全機に有効な音響通信・測位を提供するのは容易でない

● 隊列制御技術

- 複数機間の相対位置を直接制御することで、全機を有効な音響通信・測位域（有効管制域）内に留める高度な複数機制御技術



トラック「隊列走行」の実証試験
(一社) 日本自動車工業会HPより

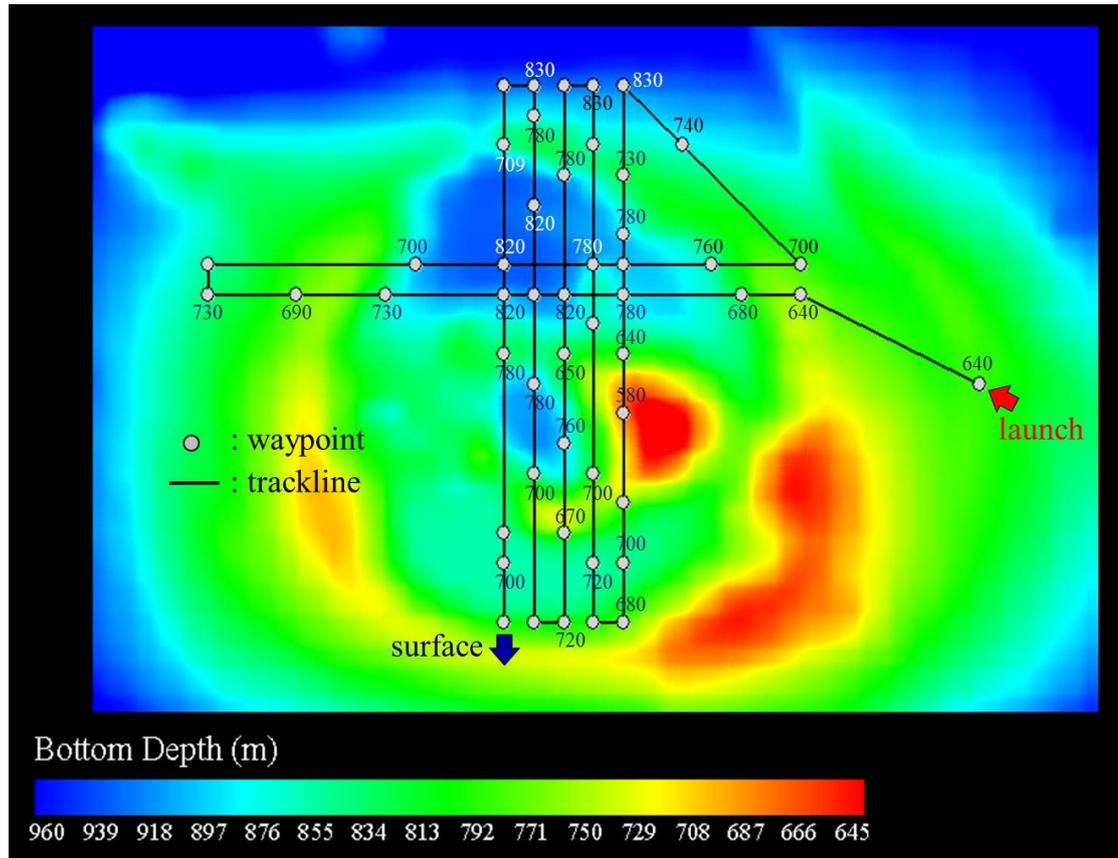


effective control zone: 有効管制域

複数AUV隊列制御技術その1：動的WP誘導

- Waypoint (WP)

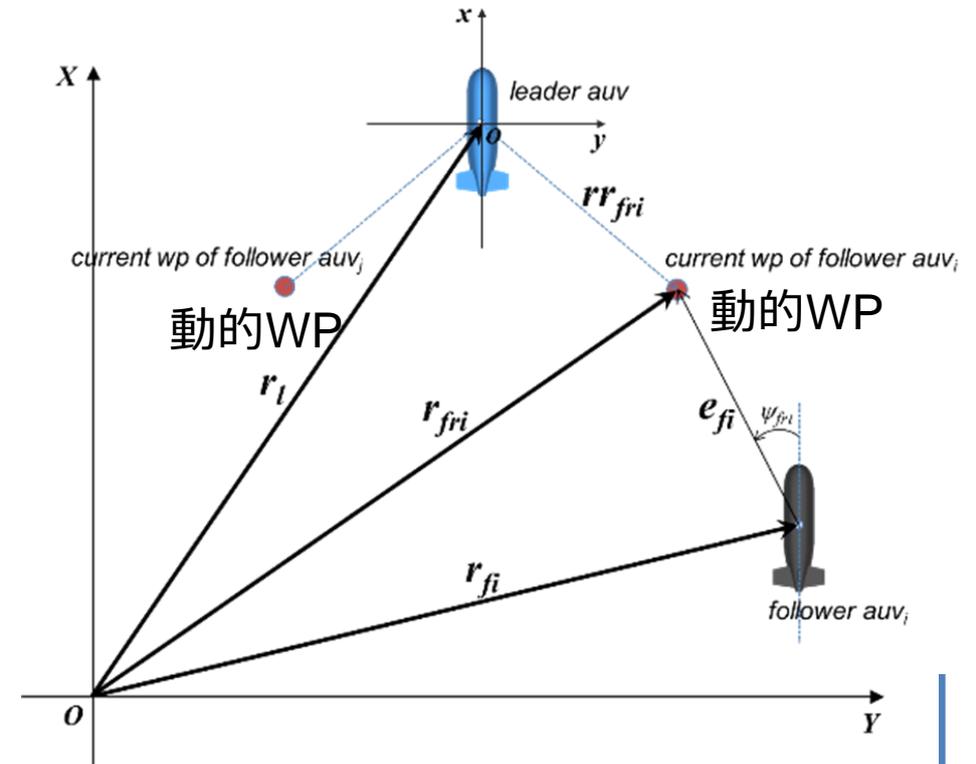
- 緯度, 経度に深度 (高度) を組み合わせ、AUVが通過・到達すべき目標位置を定めた航路点



AUV航行用空間固定WPの一例

- 動的Waypoint

- leader - follower multi-agent system
- leaderからの相対位置で定義されるWP
- ➔ WPの絶対位置は時々刻々変動



• leader - follower multi-agent system

❖ メリット

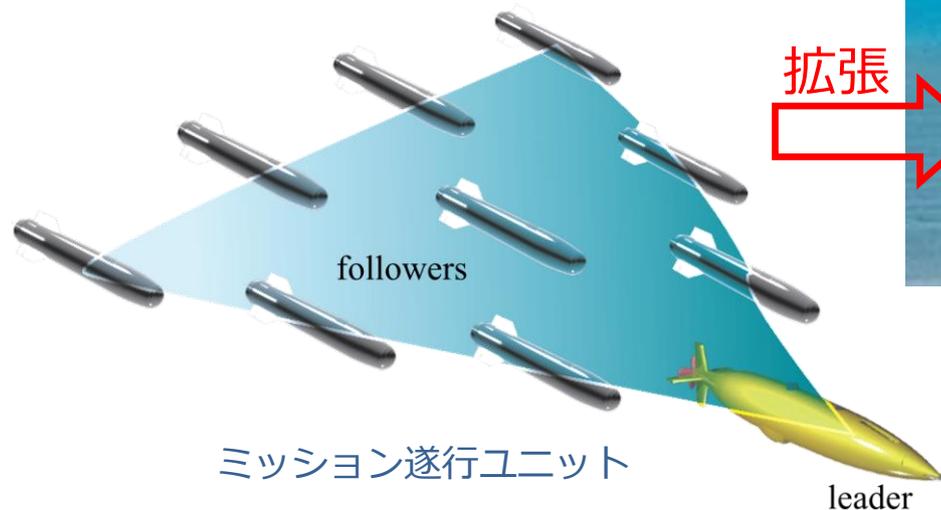
- 多数のフォロワーがリーダーに従属する： 高い拡張性
- 合理的・経済的複数機システムの構築

➤ デメリット

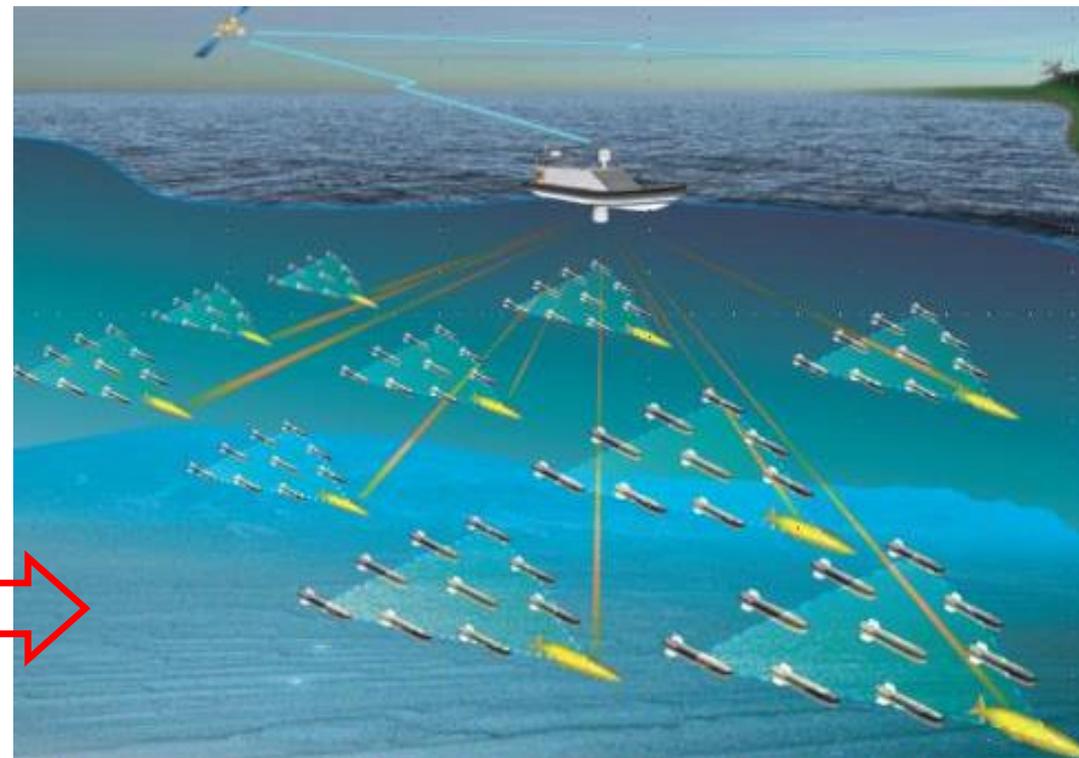
- リーダー集権に伴う脆弱性： リーダーに不具合が発生すれば、ユニット全体が破綻する恐れ

- leader AUV
 - マスター
 - 通常の汎用型AUV
 - 高機能・高価
 - 管制機

- follower AUV
 - スレーブ
 - 観測に特化したAUV
 - 中機能・低価
 - 探査機



拡張



ミッション遂行ユニット群

動的WP誘導実海域実証試験 (SIP第2期)

▶ 2019年12月、駿河湾北部水深1000m海域

▶ ASV1機、AUV2機

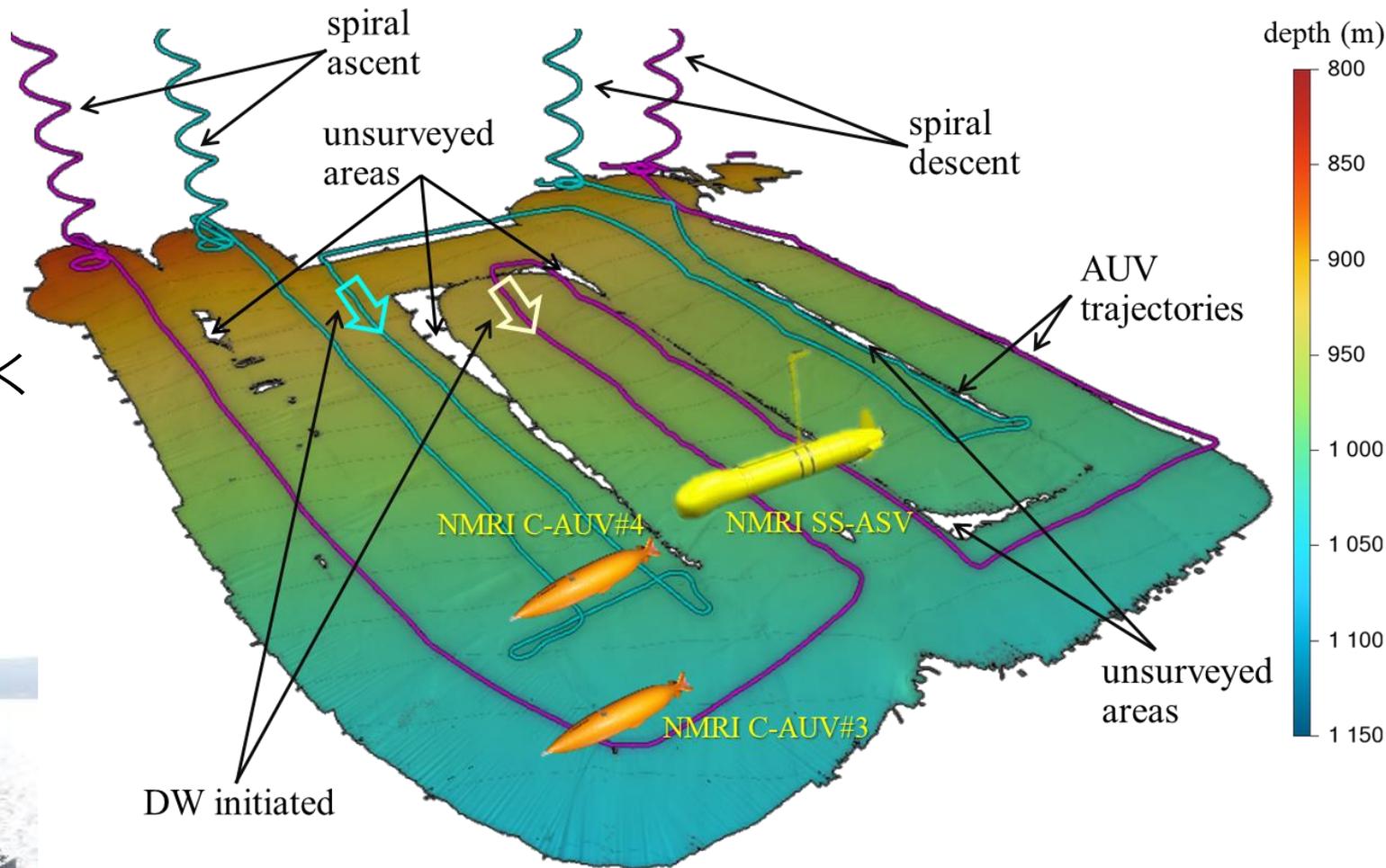
- leader機：NMRI半没水式洋上中継機

- follower機：NMRI航行型AUV3,4号機

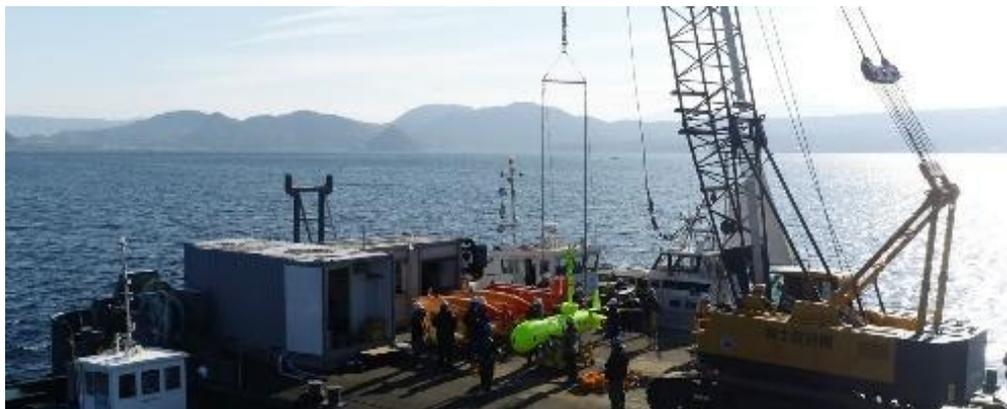
▶ Hybrid航法：固定WP追従（前半）
動的WP誘導（後半）

▶ 動的WP誘導の開始後、欠測域が著しく減少

▶ AUV間相対位置直接制御の有効性

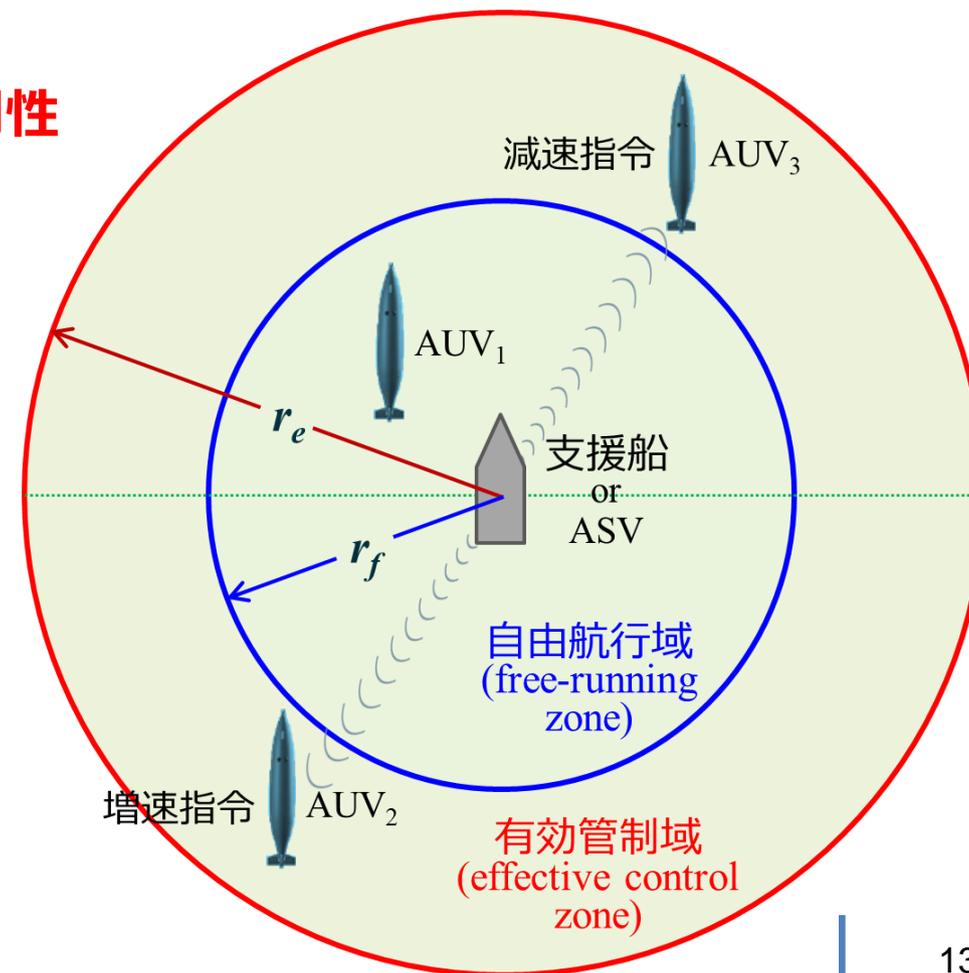
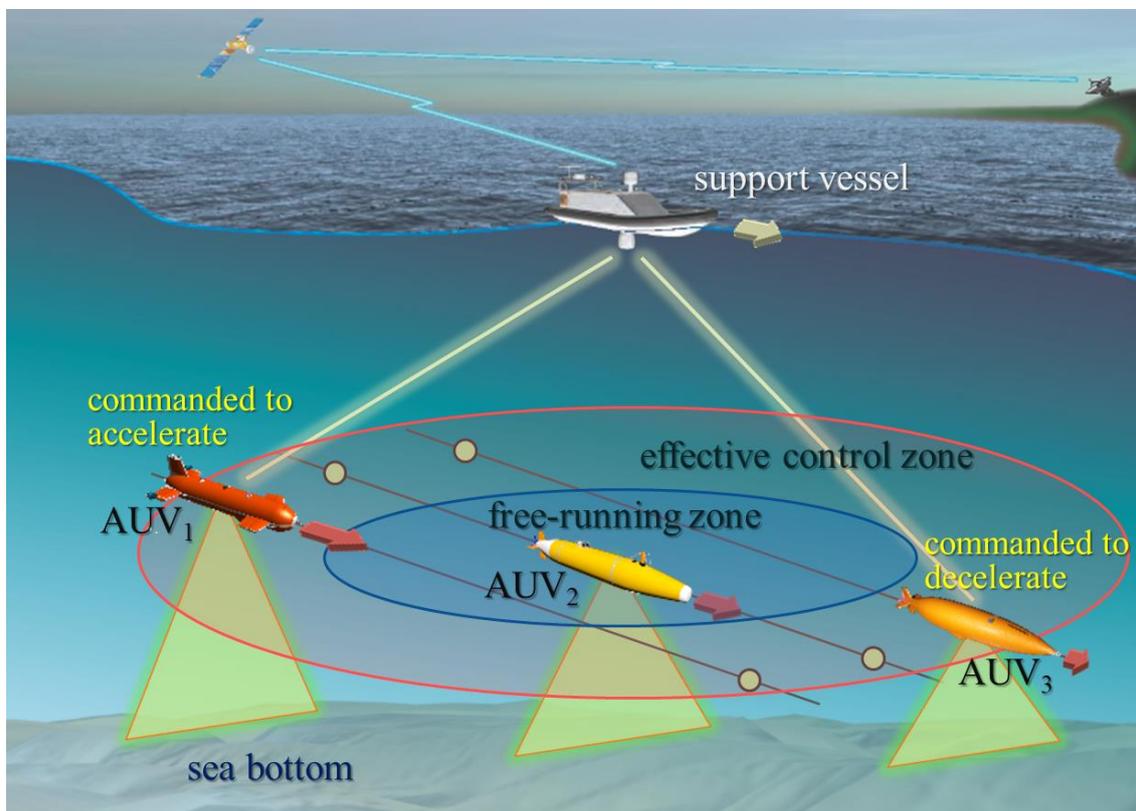


DW(Dynamic Waypoint): 動的WP



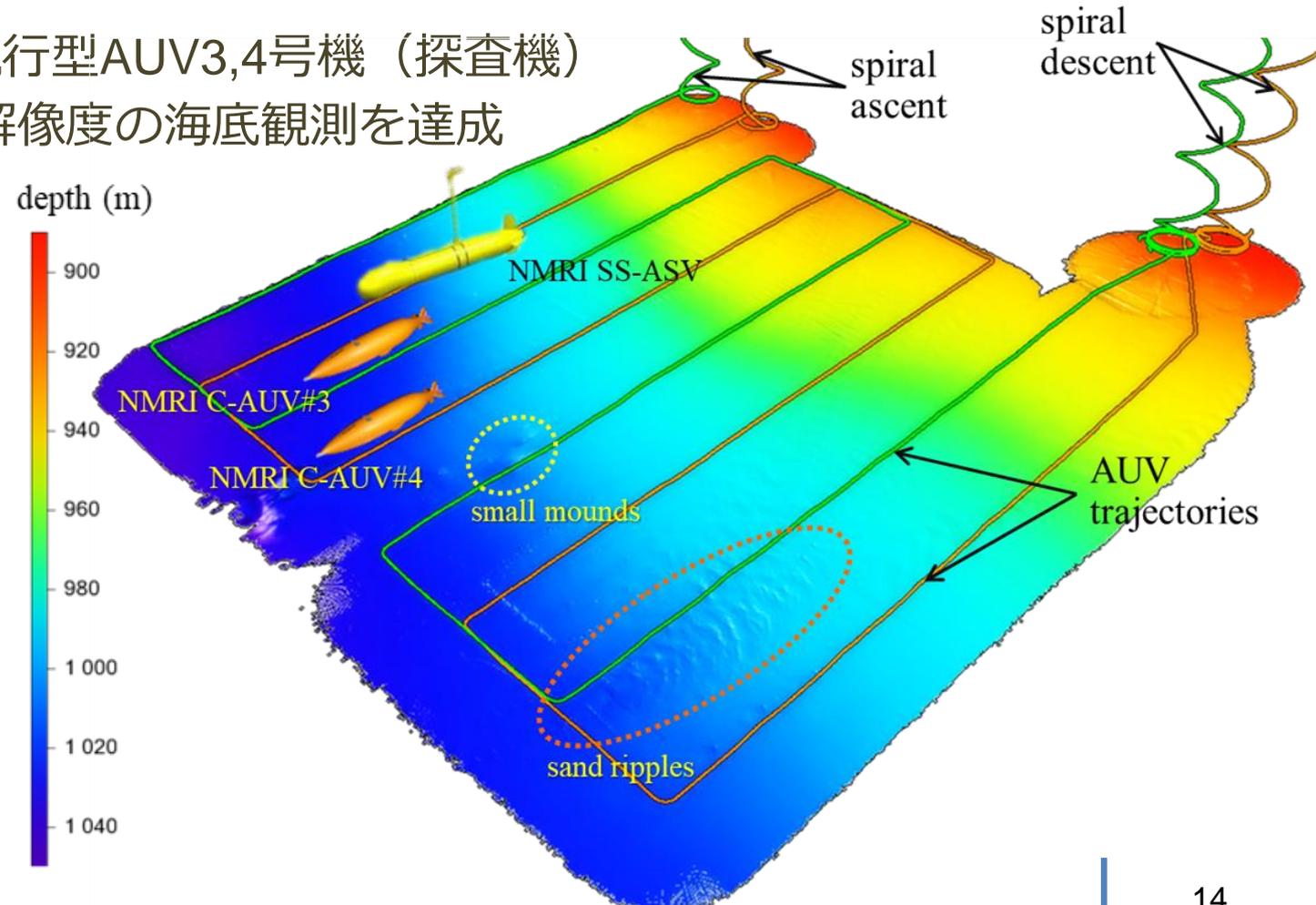
複数AUV隊列制御技術その2：基本隊列制御

- ▶ 動的WP誘導：一般的に使われる汎用的な方式ではない
- ➔ 実装にはソフトウェアの大改造が必要
- 基本隊列制御 (Basic Formation Control)
 - 従来の固定WP追従 + 各機の増・減速制御 ➔ 優れた汎用性

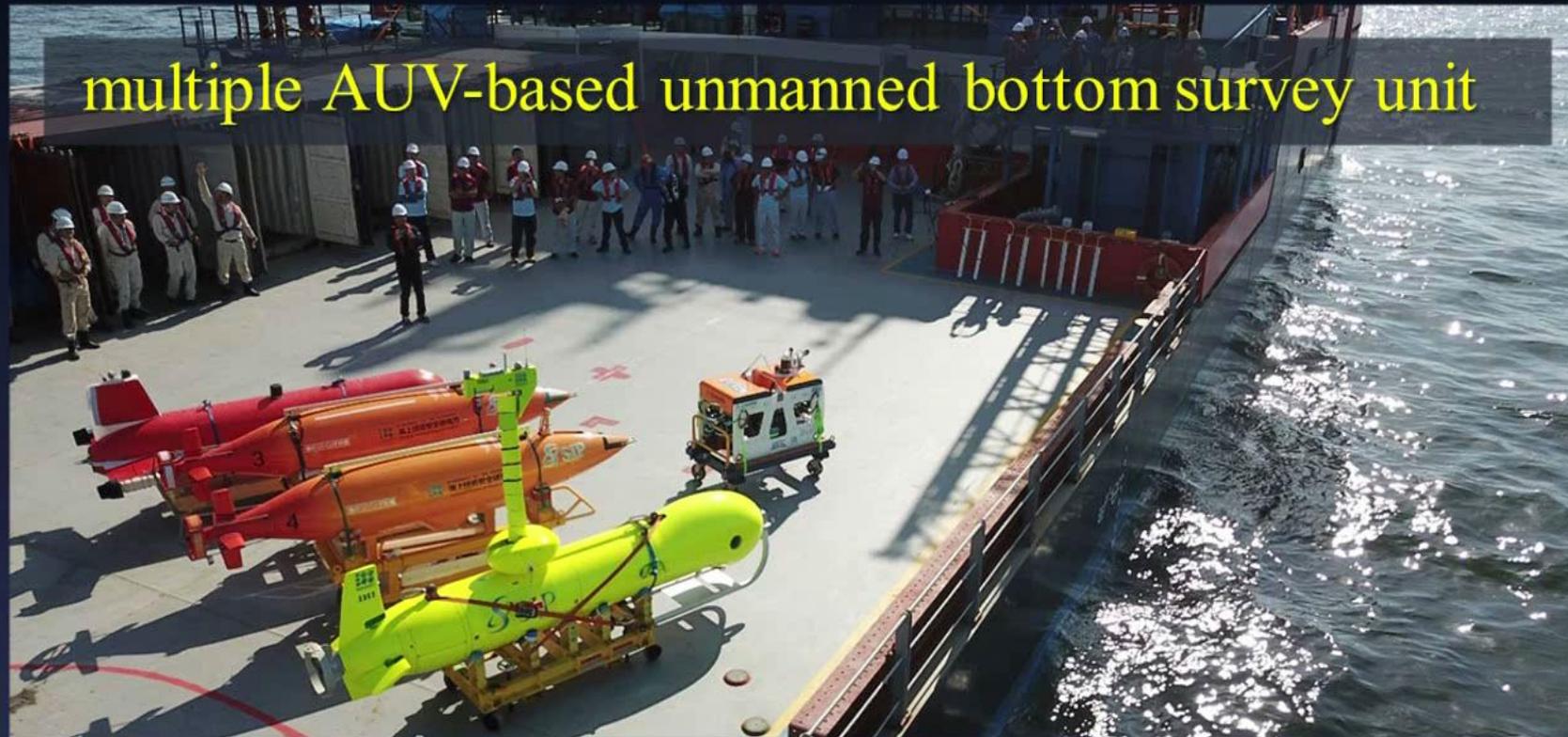


基本隊列制御実海域実証試験 (SIP第2期)

- 基本隊列制御によるAUV2機同時運用
 - 2020年7月、駿河湾北部水深1000m海域
 - NMRI半没水型ASV (管制機) + NMRI航行型AUV3,4号機 (探査機)
 - 優れた機体運動安定性により高品位・高解像度の海底観測を達成



New Approaches for Practical Simultaneous Operation of Multi-AUVs



Kangsoo Kim, Takumi Sato, Shogo Inaba, Akihiro Okamoto
Michiyo Takahashi, Masahiko Sasano, Motonobu Imasato
Tadanori Takimoto, Toshifumi Fujiwara

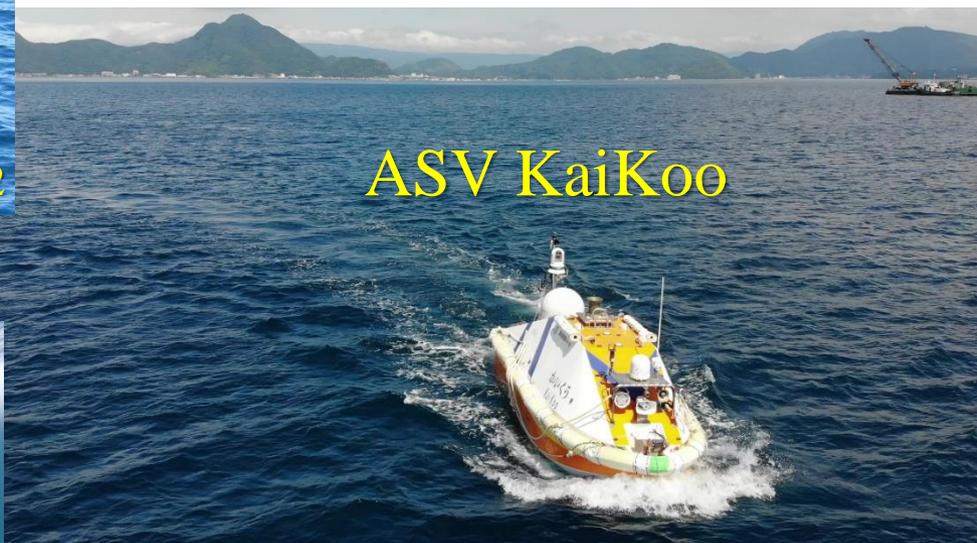
National Maritime Research Institute
National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology, Japan

基本隊列制御による異機種AUV同時運用実海域試験 (SIP第2期)

- ▶ 設計思想、開発・運用主体の全く異なる異機種のAUV4機とASV1機で海底調査ユニットを構成
 - ASV KaiKoo (JAMSTEC), NMRI航行型AUV2,3,4号機 (海技研), IHI AU-3 (IHI)
- ▶ 2022年6月と9月, 駿河湾水深100m ~ 1400m海域で異機種AUV4機による同時潜航を全5回実施:
何れも高効率で高精度・高品位の海底調査を完遂



海底調査ユニット



高度な海洋調査に向けた海洋無人機システムの研究開発に関する海技研の取り組み



戦略的イノベーション創造プログラム
Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program

- 2014 - 2019 : SIP第1期
 - 機器および運用技術の開発
 - 実海域展開および熱水活動調査の調査
- 2019 - 2022 : SIP第2期
 - 運用技術の高度化・汎用化 : 複数AUV隊列制御技術
 - 異機種AUV間の連携による高効率・高精度海底観測
- 2023 - 2027 : SIP第3期
 - 海洋安全保障に資する高度な海洋無人機システム及び運用技術

■ 謝辞

本研究の一部は、総合科学技術イノベーション会議のSiP（戦略的イノベーション創造プログラム）第1期「次世代海洋資源調査技術」（海のジパング計画，管理法人：JAMSTEC），第2期「革新的深海資源調査技術」（研究推進法人：JAMSTEC）によって実施されました。また、実海域試験におきましては（社）海洋調査協会の皆様から多大なるご協力を頂きました。

ご清聴ありがとうございました



国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所
National Maritime Research Institute

