

第15回海中海底工学フォーラム・ZERO

量子センシングの海洋展開に向けた 原子時計の可能性と課題

2026年4月17日

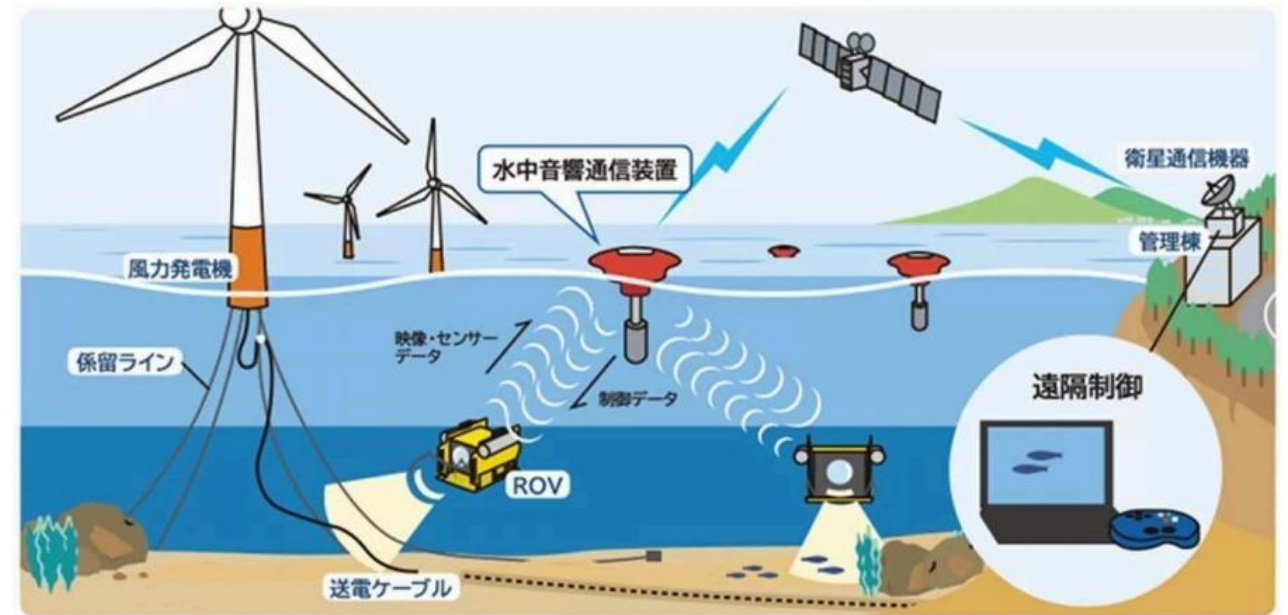
日本電気株式会社 マリタイムセキュリティ統括部
マリタイムフューチャークリエーショングループ
植野 剛

NECの取り組み

NECの取り組み (量子活用テクノロジー連携研究ラボ x マリタイムセキュリティ統括部)



×



水中音響通信を活用した設備点検ソリューションのイメージ

NEC-産総研量子活用テクノロジー連携研究ラボ
<https://unit.aist.go.jp/nec-qtech-crl2022/index.html>

WINDEXPO 2026 NECカタログ

量子技術とは

量子技術は劇的な質的变化をもたらすゲームチェンジャーとして注目
ミクロな粒子のふるまいを活用して、今までできなかったことを実現

量子センシング技術

量子状態が環境変化に影響されやすいことを逆にとり、
時間や物理量(磁気・温度等)の微小な変化を計測

2030年国内市場予想※
約1,100億円

量子通信・量子暗号技術

盗聴者の存在によって、量子特有の相関である「量子もつれ状態」が乱される性質を利用し、**盗聴の完全な検知**を実現

2030年国内市場予想※
約650億円

量子コンピューティング技術

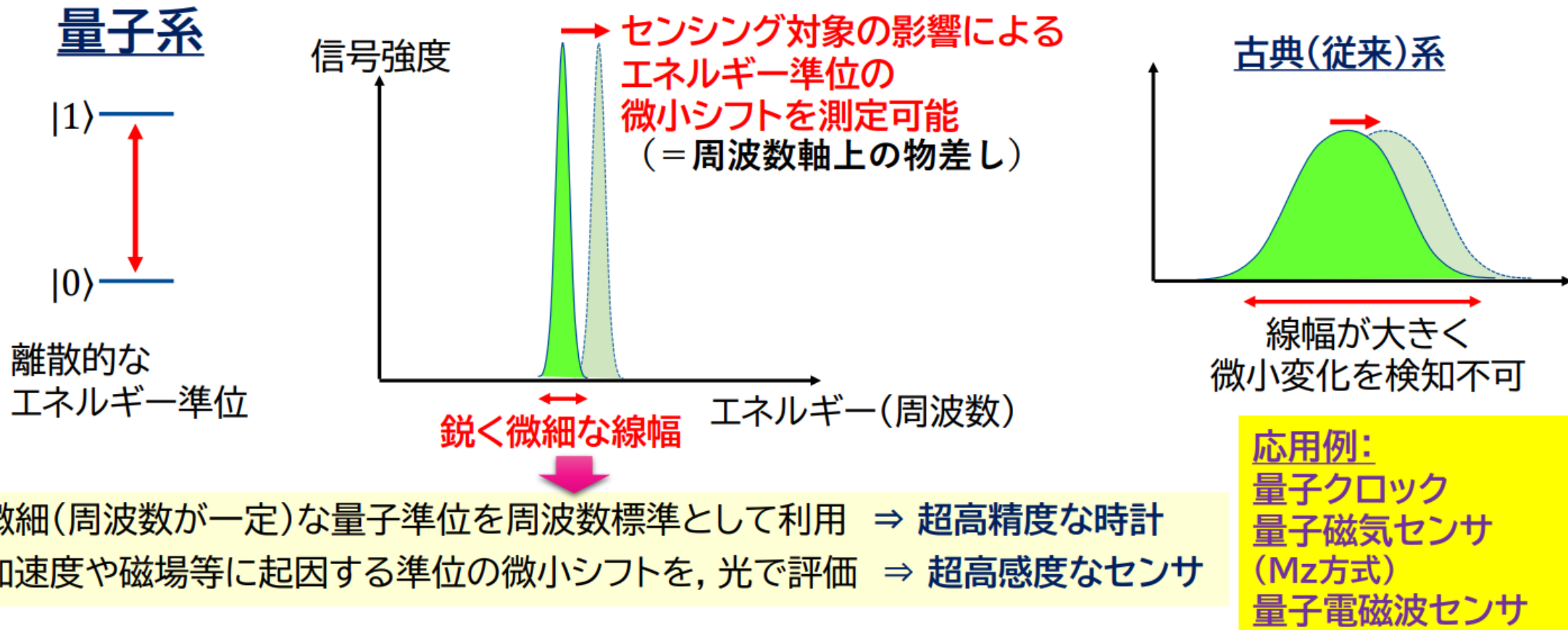
計算単位「量子ビット」が0でもあり1でもある
「重ね合わせ」の状態を活用し、**超高速・超並列処理**を実現

2030年国内市場予想※
約4,000億円

※2025年版量子技術市場の現状と展望 矢野経済研究所

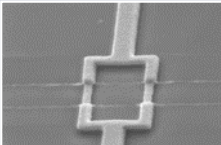
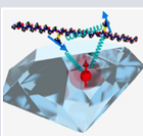
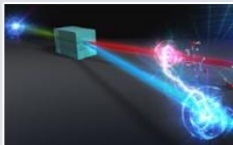
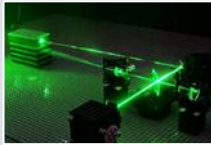
量子センシング技術とは

量子システム：離散的な固有状態を有し外部環境変化に敏感⇒高精度/高感度な周波数基準やセンサに



量子センシング デバイス比較

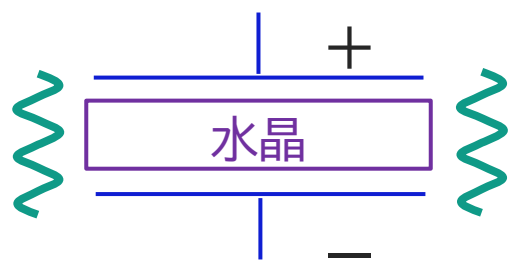
NEC注力

		超電導	ダイヤモンドNV センター	中性原子ガス	もつれ光子対	多光子干渉計
形状概要		 [1]	 [2]	 [3]	 [4]	 [5]
強み		・ 超高感度	・ 高い空間分解能 ・ ダイナミックレンジが広い ・ 室温～高温で動作 ・ マルチモーダル	・ 室温下で高感度	・ 高感度 ・ 高い空間分解能	・ 高精度な変位を計測可能
弱み		・ ダイナミックレンジが狭い（飽和しがち） ・ 低温冷却が必要	・ 感度／最小検出能はそれほど高くない	・ ガスの閉じ込め必要	・ 大規模なもつれは困難	・ 精緻な制御が必要
センシング対象	磁場	○	○	○		
	電場、電磁波	○	○	○		○
	温度、ph		○			
	高分解画像		○		○	
	位置、変位			○	○	○
	重力加速度、角速度		○	○		
時間				○		

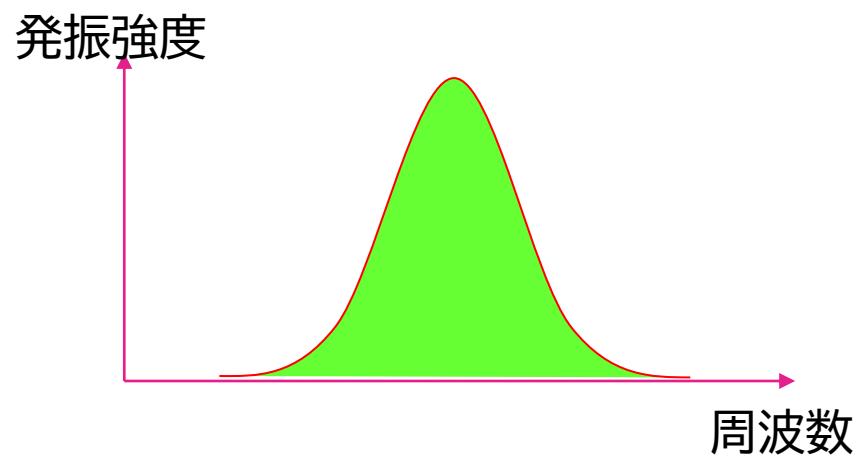
量子センシング：小型原子時計

クロック（時計）：一定のテンポ（周波数）で時を刻む
⇒ 周波数が安定な（線幅が狭い）ほど、時計の精度が向上

■ 従来普及クロック：水晶発振器

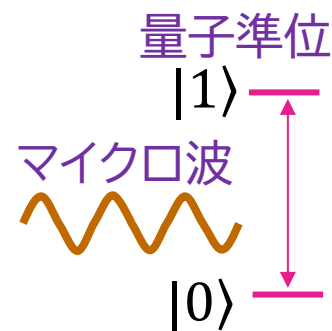


圧電効果（電圧で機械振動が生じる効果）
による水晶片の振動周波数で時を刻む

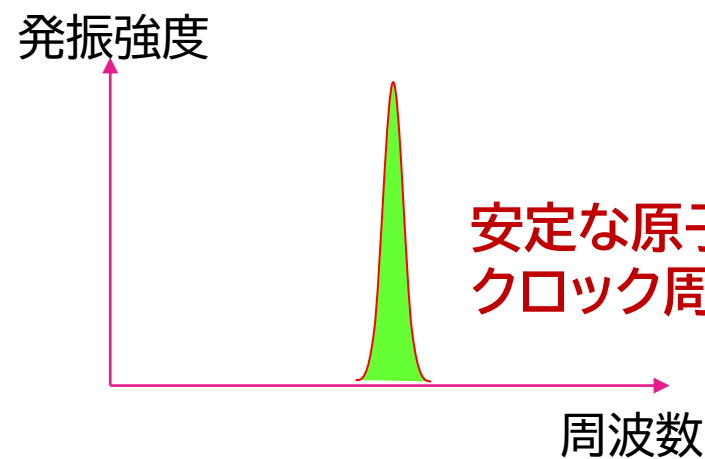


◆ 量子クロック：原子時計

※現在(GPS衛星や標準時等で)最も普及している量子デバイスの一つ



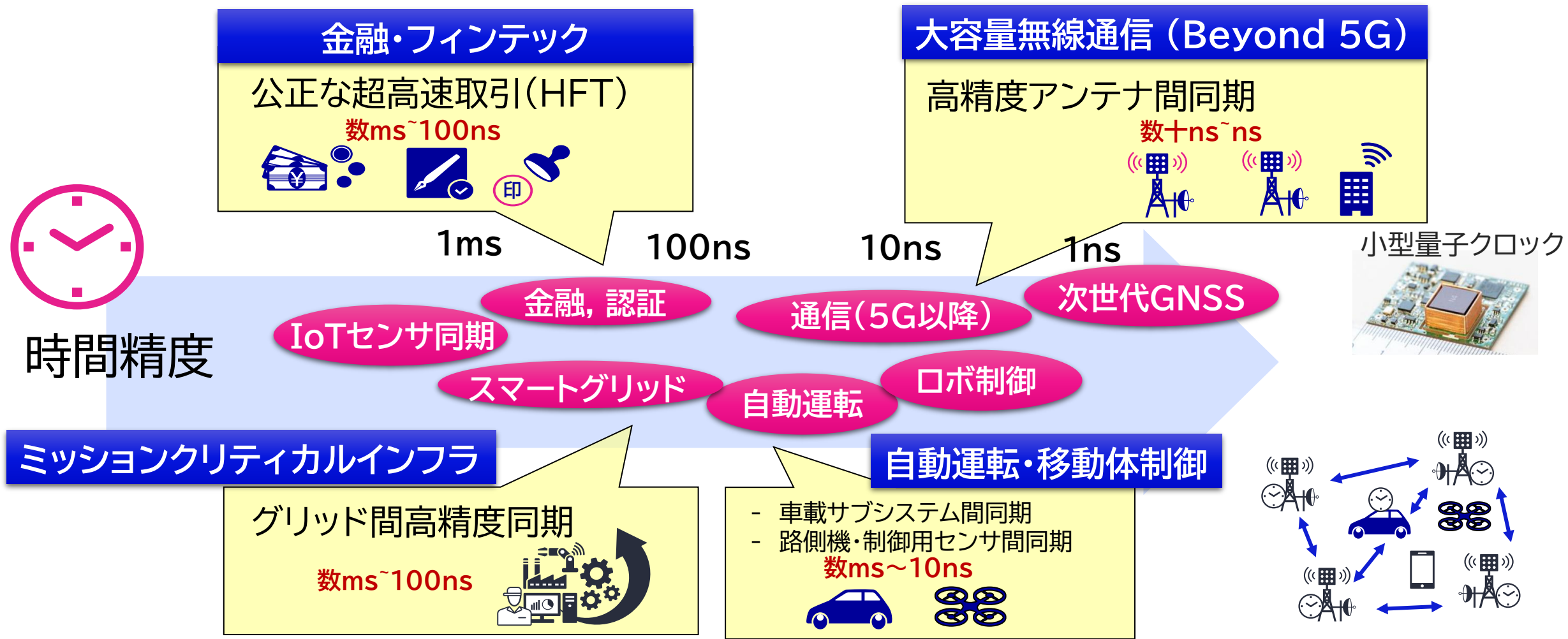
Cs原子の安定な量子状態の
共鳴周波数で時を刻む



安定な原子の量子状態を用い、
クロック周波数を格段に安定化

なぜ水中に量子技術を適用するのか？

精密な時刻同期は、様々な社会課題を解決するキーテクノロジーに

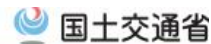


小型量子クロックのAUVへの期待

AUVの長時間航行や複数機の同時運用(群制御)のニーズ

GNSSが届かない海中での時刻保持技術はデータ同期に不可欠な存在に

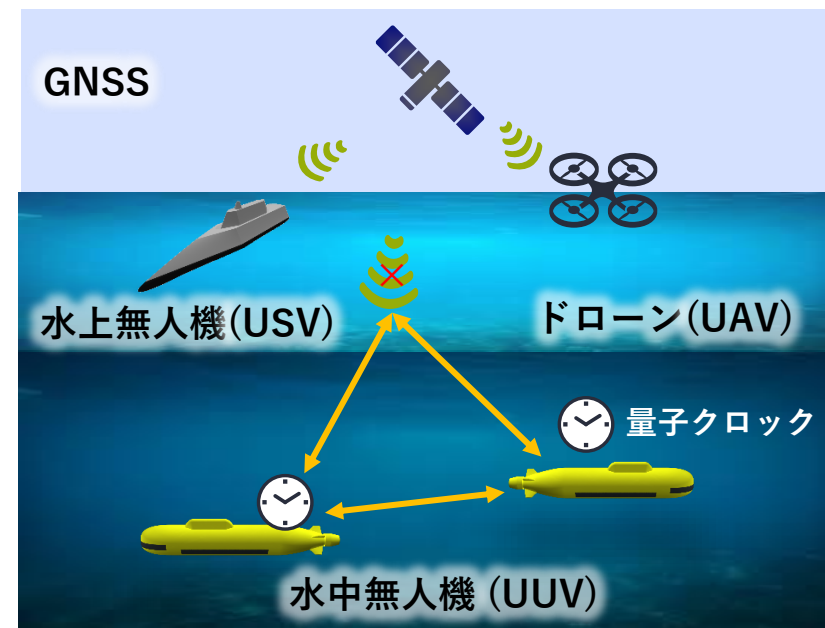
海外開発・利用動向



- AUV, USV, ROVのいずれも連続運用が志向され、運転の長時間化が進んでいる。
- AUV, ASVは複数機の同時運航(群制御)が実用化されつつあり、環境データの取得の効率が飛躍的に向上している。
- 複数の無人機(AUVとROVなど)を組み合わせた調査船団が運用されている。

	長時間航行	複数同時運用	ホバリング型	モジュール化	小型化
AUV	 最大3か月の連続運航 Helsing(独)	 迅速化・精密化 Aquabotix(米)	 定点観測 Advanced Navigation(豪)	 多用途化 L3Harris(豪)	 人力で運べるサイズ BAE Systems(米)
USV	 22日間の連続運航 SEA-KIT(英)	 12台のASVでハリケーンを観測 Saildrone(米)	 風力を利用するASV Oshen(英)	無人機を用いた調査船団 AUV搭載船舶+ROV搭載船舶による調査船団 	
ROV	 常駐化による長期運用 Oceanneering(米)	 自律的に構造物周囲を航行 Nauticus Robotics(米)	 Ocean Infinity(米)		

GNSSに依存しない移動体制御や同期保持
→ 高精度量子クロックによるデータ同期



海における次世代モビリティに関する産学官協議会(資料集)、令和8年3月

大きく二つの研究方向性: ”究極の時刻精度” or ”原子時計の小型軽量化”

Clock accuracy

Commercial clocks(水晶発振器)

:Quartz oscillator (TCXO)



10:11:23.4
h m s

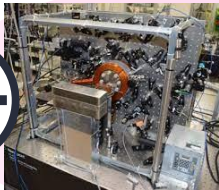
1/1000000



10:11:23.473 951 635
h m s ms us ns

Conventional atomic clock(原子時計)

:controlling quantum states by microwave



Optical lattice clock(光格子時計)

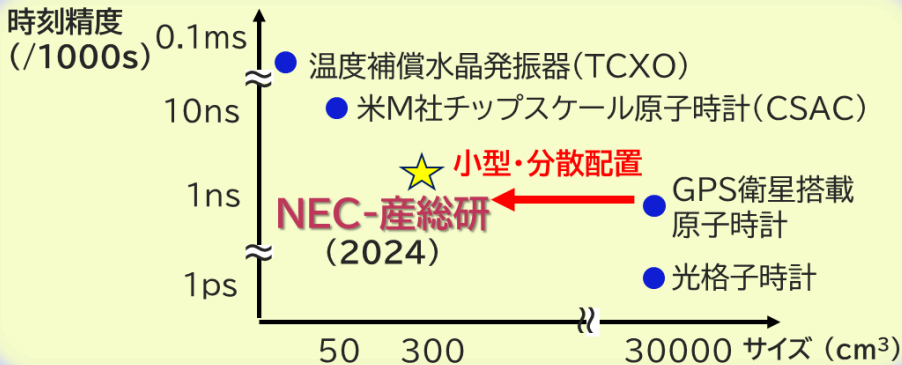
(NTT-Univ.Tokyo)

10:11:23.473 951 635 842 96...
h m s ms us n ps fs



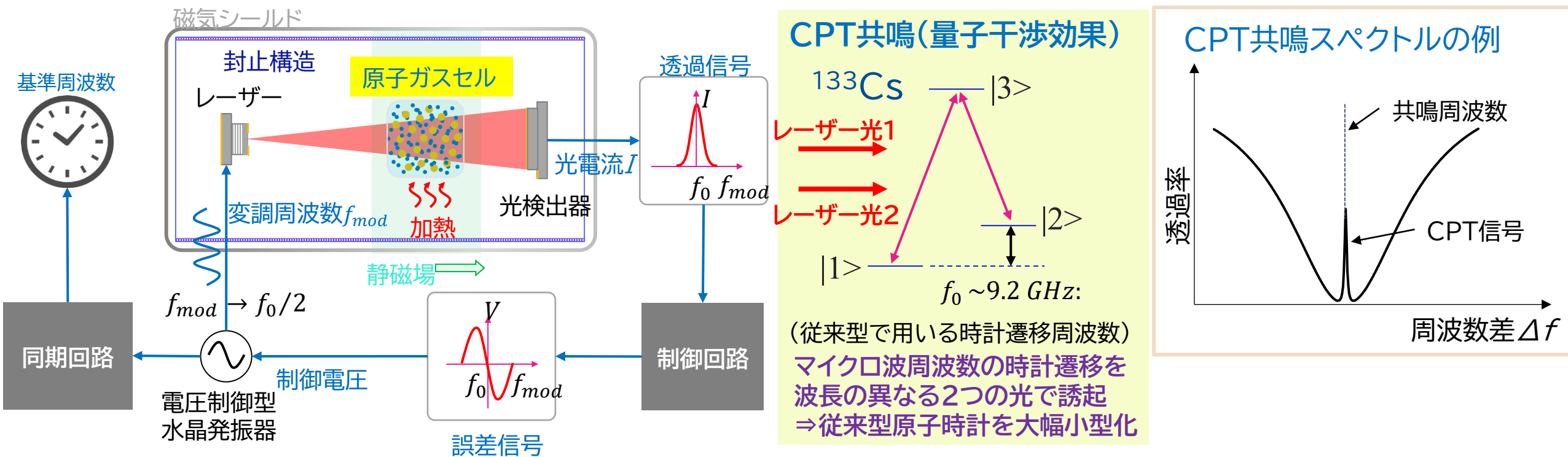
Small atomic clock
(小型量子時計)

: controlling quantum states by light



NECの技術：CPT(Coherent Population Trapping)型 小型原子時計

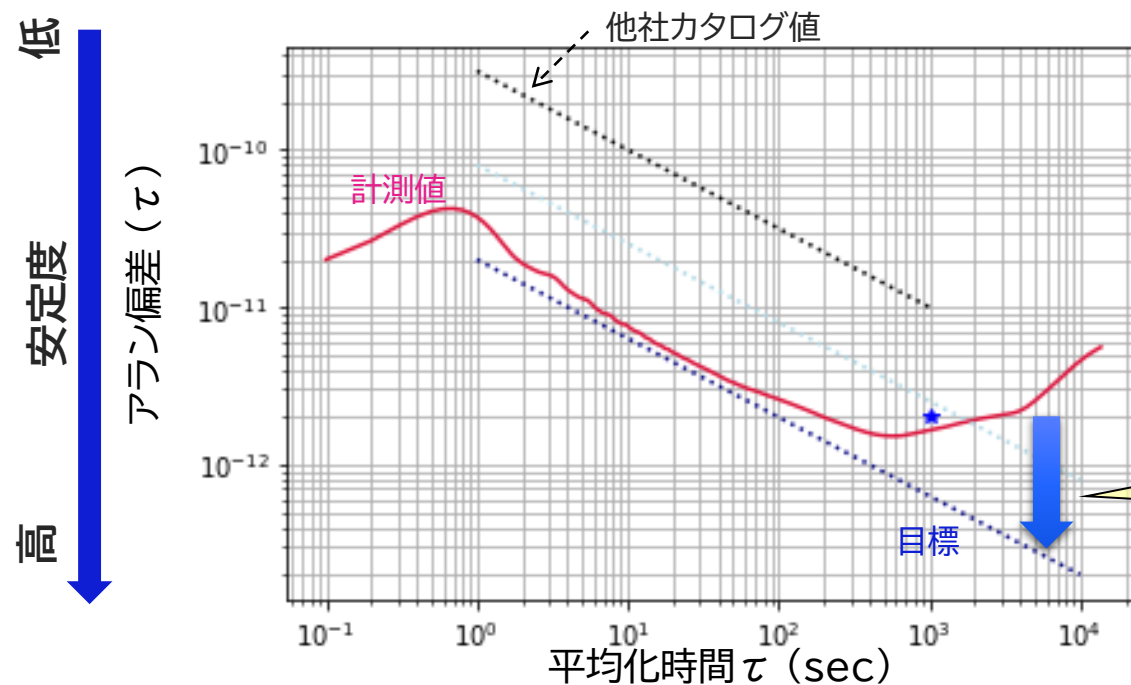
レーザーにサイドバンド変調をかけることで原子のマイクロ波遷移を検出可能
⇒原子の量子準位由来の狭線幅信号に水晶発振器の発振周波数をロック。



量子干渉効果由来の信号をいかに細く高く(=高確度)揺らがずに(=長期安定性)保てるかが性能を決める

NECの技術：小型原子時計（量子クロック）試作機の性能評価

従来の量子クロックに比べて、短期～中期安定度では約1桁の安定性
長期安定性に向けた改善を試行中



試作機の外観・内部



長期安定性に課題は残る。
安定性向上のための改善を試行中

レーザー光の“パワーバランス”と”“波長の揺らぎ”“が長期安定性変動の主要因。
独自手法で抑制し、長期安定度向上へ

量子センシングへの期待

【参考】 水中に利用可能性のある量子センシング

量子センシング技術のメリットは、物理量＝絶対値を測定可能
磁気やジャイロが開発され始めている。

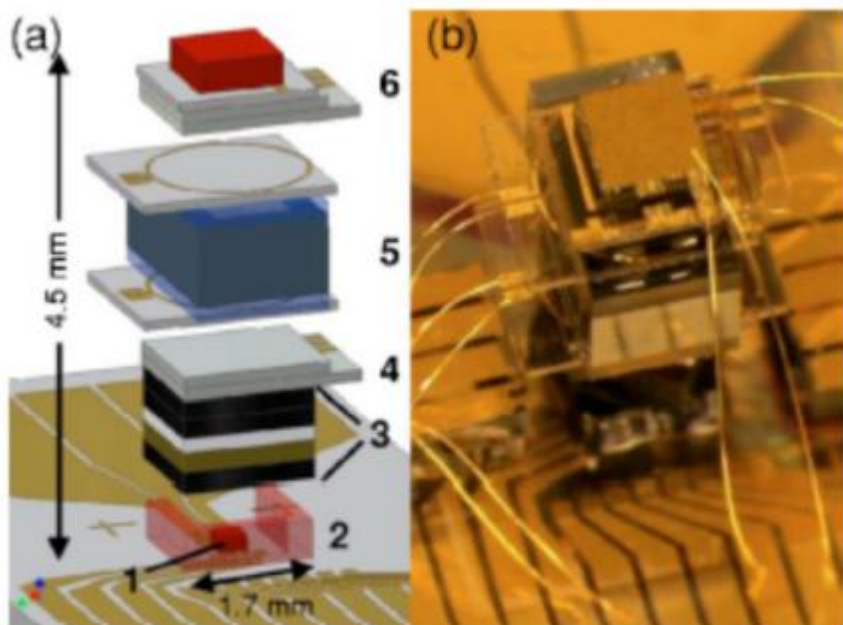


FIG. 42. A chip-scale Mx atomic magnetometer. The coils used to drive the Larmor precession are shown. Reprinted with permission from Appl. Phys. Lett. **90**, 081102 (2007). Copyright 2007 AIP Publishing LLC.

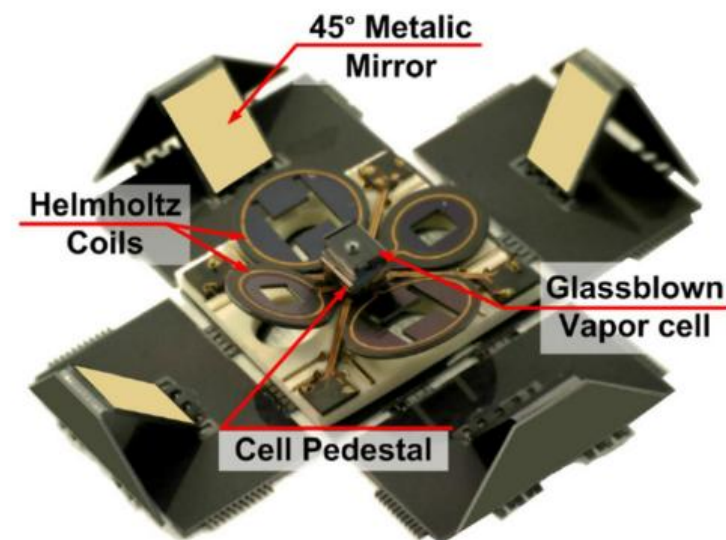


FIG. 49. Implementation of a NMR gyroscope using a folded MEMS design. Components are fabricated on a single silicon backplane and folded to achieve the appropriate optical geometry. Reprinted, with permission, from R. M. Noor *et al.*, in *Proceeding of 2017 IEEE International Symposium on Inertial Sensors and Systems (INERTIAL)* (2017), pp. 156-159. Copyright 2017 IEEE.

Chip-scale atomic devices : Appl. Phys. Rev. 5, 031302 (2018) <https://doi.org/10.1063/1.5026238>

NEC

\Orchestrating a brighter world