

## 審査の結果の要旨

氏名 小山 寿史

同君は、海嶺における熱水域探査用自律型海中ロボットに搭載し、海底の微細地形を計測できるLアレイのインターフェロメトリソナー (LA-IFS) の開発、その地形解析手法の研究開発、並びに実計測を通して数々の海底熱水鉱床域の優れた研究成果を収めてきた。これに伴い、「自律型海中ロボット r2D4 搭載 LA-IFS 及び SSS による海底地形計測手法の開発」、と題する研究論文をまとめた。

現在、最も一般的に用いられている測深機として観測船に装備するマルチビーム音響測深機 (MBES : Multibeam Echo Souder) がある。多数のハイドロホンを使いミルズクロス法により数 10 本~数 100 本のマルチビームを形成し、幅広い海底面の海底地形を計測するものである。一方インターフェロメトリ測深機は、進行方向に狭く横方向に幅の広いファンビームを海底に向けて照射し、海底からのエコーをわずか 2~6 本の無指向性ハイドロホンで受信し、位相差からエコーの到来角を求めてスワス測深を行うものである。

LA-IFS はハイドロホンアレイ間隔を長くする事で計測分解能を上げ、それにより生じる波長の整数倍というアンビギュイティを 3 つ目のハイドロホンを L 字型に配置する事により効率的に解く事を目指し開発を行ってきたシステムである。これまでハイドロホンアレイ間隔は半波長が基本であったが、LA-IFS はハイドロホン間隔を最大で  $15.6\lambda$  と約 30 倍にし、角度分解能を大幅に改善した。しかし、波長の整数倍 (最大で 15 倍) というアンビギュイティを 3 つのハイドロホン信号から解くということは大変難しい課題であった。初期の実験データを用いて解析を行い、ハイドロホンを L 次型に配置する事で位相差のアンビギュイティを解き、スワス幅の広い効率的な測深が行える事を示した。L 字型のアレイ配置は AUV の側面及び底面に沿ってハイドロホンを取り付ける事が可能であるので広い適用可能性を持っている。本論文では引き続きシステムの研究・開発を進め、r2D4 搭載用測深機として LA-IFS システムを確立させる事を達成した。また海底の音響画像との組み合わせにより熱水鉱床地帯の地形的、地質的な詳細を効果的に捉える事が可能となった。

本論文ではまず r2D4 で計測された実海域データを用いて LA-IFS の解析を行

い、詳細な海底地形図を作成する事により本測深機が十分に AUV 搭載用測深機として有用である事を示した。さらに、得られた測深データから精度評価を行い、熱水鉱床探査機器として十分な精度を持っていることを証明した。また位相差計測手法の改良としてトーンバースト波照射により生じる帯域幅データを利用し精度の向上を図り、加えて受信パワーによる重み付き平均処理と標準偏差を用いたノイズ除去を組み合わせる事により、位相差のアンビギュイティ処理に対する難しさをさらに軽減する事ができた。また、シャドーゾーンや海底からの反射エコーが弱くなる事により生じる位相差情報の劣化領域について音圧と位相差の分散特性を用いて除去し、同時に IFS のフットシフトプリントの問題と送波ファンビームのビームフォーミングによる位相差の反転が複合して生じる位相差飛びの問題についても、これらにより生じるノイズ地形を除去する解析方法を開発した。また受波到来角計測を行う IFS では大きな誤差の原因となる音速の補正についてスネルの法則を用いた後処理手法を適用し改善した。

次にプラットフォーム搭載用の補正処理として AUV の航跡データを観測条件に合わせて補正できるようにした。例えば船上からの SSBL を用いた AUV の INS データの絶対位置補正であり、r2D4 のウェイポイント航法に着眼しほぼ自動で航跡補正を行えるようになった。SSBL 計測が行えない場合は、AUV の高度値及び深度値を合わせた値と海底のベースマップ深度との差分から INS 絶対位置のバイアスを求め、INS 航跡の補正值として使用した。各手法とも INS の海底面付近での相対位置精度の高さを利用したものである。

サイドスキャンの音響画像解析についても、起伏の激しい地形上では海中ロボットが海底からの高度を一定に保って航走する必要から±20度の激しいピッチング運動を行い、結果として音響画像に大きな横縞模様の歪を生じていた。音響画像を航跡に沿って貼り合わせていくモザイク処理の際にピッチ補正を含む動揺補正を加え、定高度潜航下において起伏の激しい地形を観測中にプラットフォームが動揺しても安定したモザイク画像を生成できるようにした。

海中ロボット r2D4 を使った主な海底熱水域の海底微細地形調査、解析成果は、2006 年の黒島海丘調査、2006 年南インド洋中央海嶺地形調査、2008 年ベヨネエーズカルデラ地形調査、また、2008 年独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC) から委託された海底熱水鉱床域の地形調査などがあげられる。これらは、同君が研究開発した複雑で高度な解析技術を駆使して、詳細な海底地形、熱水鉱床の優れた探査成果を上げてきた。このように、実用面での実績も優れている。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。