

# 「しんかい6500」音響画像伝送が高速に

取材協力 志村拓也

海洋工学センター 海洋基幹技術研究部  
先端技術研究グループ グループリーダー

有人潜水調査船「しんかい6500」には、音響画像伝送装置が搭載されている。深海で撮影したカラー画像を海上の母船に音波を使って送信する装置で、世界に先駆けて開発されていたものだ。船上の研究者と運航要員も深海の画像を確認できるようになり、潜航調査の効率が飛躍的に向上した。しかし、運用開始からすでに25年以上がたち、新型機への更新が望まれていた。そして海洋工学センター海洋基幹技術研究部の志村拓也さんたちにより、通信速度が大幅に向上した高性能の新型機が実現。2018年度から実運用を開始した。

2017年3月、駿河湾や小笠原諸島海域で「しんかい6500」の試験潜航が行われていた。5年ごとに行われる大掛かりな定期検査工事の後ということもあり、支援母船「よこすか」には緊張感が漂っていた。さまざまな試験が進んでいくなか、みんなの視線が総合司令室などに設置されたモニターに集まる。音響画像伝送装置の新型機の試験が始まるからだ。水深3,600mを潜航中の「しんかい6500」から画像を送信。そのおよそ2秒後、「よこすか」のモニターに画像が映し出さ

れた。そして2秒ごとに画像が更新されると、「おおっ！」という歓声が上がった。新型機を開発を担当した志村さんも「ほっとしました」と、そのときを振り返る。「画像の転送速度は、それまで搭載されていた初号機の4倍を超え、期待以上の結果でした」

## 音響画像伝送装置は「しんかい6500」が世界初

「しんかい6500」は、水深6,500mまで潜航可能な世界有数の有人潜水調査船である。定員は3人。1989年に完成したとき、音響画像伝送装置は搭載されておらず、「しんかい6500」と「よこすか」とのやりとりは水中通話機を介した音声に限られていた。

しかし、有人潜水調査船を運用していくなかで、音声通信だけで深海で行われている調査の状況を伝えるのは難しく時間がかかるため、潜水調査船から母船に画像を伝送できるようにしたいという声が上がっていた。そうした背景から音響画像伝送装置の開発が進められ、1991年、音響画像伝送装置が「しんかい6500」に搭載されたのだ。音響画像伝送装置を常設した潜水調査船は世界初だ。「しんかい6500」に搭乗している研究者とパイロットだけでなく、船上の研究者と運航要員も深海の画像を確認できるようになり、潜航調査の効率が飛躍的に向上した。

しかし、運用開始から25年以上たっていることから、装置

の老朽化が問題になっていた。そうした背景から、新型機の開発が始まったのだ。中心になったのは、先端技術研究グループの志村さんと出口充康さん、樹田行弘さんである。

## 音響通信が難しい理由

音響画像伝送という名前の通り、海中では音波を使って画像を送る。「陸上では通信に電波を使いますが、電波は海中ですぐに弱くなってしまい遠くまで届きません。そのため海中での通信には音波を使います。ところが、電波と音波では性質が大きく違うために、音響通信で高速通信を実現するのは非常に難しいのです」と志村さん。

1つ目の違いは、伝搬速度である。電波は空気中を1秒間に30万km伝わる。音波が海中を伝わる速度は1秒間に1.5kmであり、空気中を伝わる電波の20万分の1と非常に遅い。

2つ目の違いは、通信に使える周波数の帯域幅である。周波数とは1秒間に繰り返す波の数のことで、通信に使う周波数の範囲を周波数帯域幅という。「周波数帯域幅は道路の幅だと思ってください。周波数が高いほど帯域幅を広く取れるので道路の幅が広くなり、一度にたくさんの情報を送ることがで

きます」と志村さんは説明する。携帯電話などの電波通信にはMHz（メガヘルツ）やGHz（ギガヘルツ）の高い周波数が使えるので、帯域幅が広く、一度にたくさんの情報を送ることができる。一方、音波は周波数が高くなると急激に海中で減衰しやすくなるので、音響通信で利用できるのは十数kHz（キロヘルツ）の低い周波数に限られてしまう。そのため帯域幅が狭く、一度にたくさんの情報を送ることができない。

ほかにも、ドップラー効果の影響が大きいなど、音響通信には電波通信とは異なる特有の問題がある。音響通信装置の開発では、そうしたさまざまな難題を克服しなければいけないのである。ところが、今回の新型機の開発で大変だったことを志村さんに尋ねると、「苦労したことは特にありませんでした。実は、今回の新型機の開発には1ヵ月もかかっていないんです」と意外な答えが返ってきた。

## 音響通信に関する基礎研究からのスピノフ

では、どのようにして通信速度の高速化を実現したのだろうか。

志村さんは、「性能を上げるには、画期的な新しい技術を取り入れる方法と、技術は既存のものだが1個1個の要素をきちんと見直して最適化していく方法があります。今回の音響画像伝送装置の新型機開発は、後者です」という。「海中の調査観測に音響通信は欠かせないため、私たちは音響通信に関するさまざまな基礎研究を行ってきました。そのなかで培ってきた技術と知識を使ったスピノフなのです」

志村さんが装置を開発する際に重視しているのは、「基礎研究で得た知識や技術のなかから、条件、環境、目的に適合したものを選んで使うこと」だという。「今回の音響画像伝送装置であれば、条件は音波を使うこと、環境は最大水深6,500mの海中、目的は通信速度の高速化です。専門的になるので詳

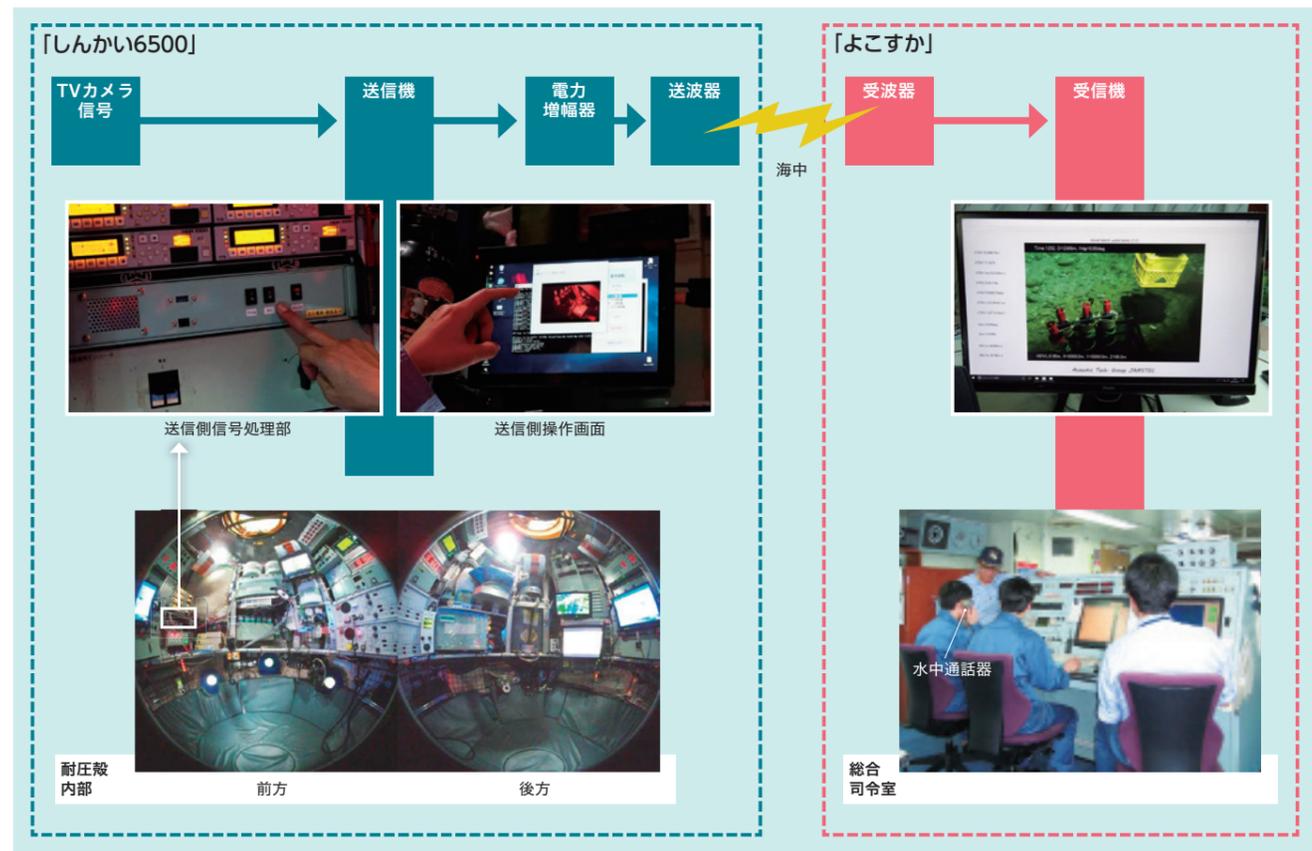


音響画像伝送装置新型機の試験の様子  
「よこすか」船上のモニターに「しんかい6500」から送信された画像が映し出されている。

## 「しんかい6500」音響画像伝送装置初号機と新型機の比較

	0秒	2秒	4秒	6秒	8秒	10秒	12秒	14秒
<b>画像伝達装置 初号機</b> 240×256ピクセル 10秒に1枚 10秒ごとに1枚の画像が送信され、モニター上では左上からブロックごとに表示されていく。復調に失敗して画像が欠けてしまうビットエラーが起きているところもある。								
	1枚目受信開始					1枚目受信完了	2枚目受信開始	
<b>画像伝達装置 新型機</b> 240×320ピクセル 2秒に1枚 2秒ごとに1枚の画像が送信され、モニター上ではスライドが切り替わるように次々と表示されていく。ビットエラーはほとんど起きない。								
	1枚目受信開始	1枚目受信完了	2枚目受信完了	3枚目受信完了	4枚目受信完了	5枚目受信完了	6枚目受信完了	7枚目受信完了

【しんかい6500】音響画像伝送装置の構成



研究者と  
運航チームからの  
声

音響画像伝送装置が新型になり「よこすか」船上で受信した画像は、深海から音波で送られてきているとは思えないほどきれいでした。近い将来、ドレッジや海底地震計、ピストンコア、採水器、係留装置、漁網などに深海用ビデオカメラを取り付け、撮影した画像を船で受信することも可能になるでしょう。音響画像伝送の応用範囲は、限りがないように思います。

石井輝秋 静岡大学 防災総合センター 客員教授

初号機では、画像の送信間隔が10秒と長く、また低画質だったことから、状況の共有は水中通話機によるコミュニケーションが主で、貴重な潜航時間を取られることもあり。新型機では、送信間隔が2秒になり画質も上がったため、画像によるコミュニケーションが可能となり、潜航時間をより有効に使えるようになりました。

画像の送信間隔が短いので、「しんかい6500」の運用画像としても活用できるようになりました。そのため「よこすか」の総合司令室にあったTVカメラ用の小型モニター1台を取り外すことができ、船内環境の改善につながっています。

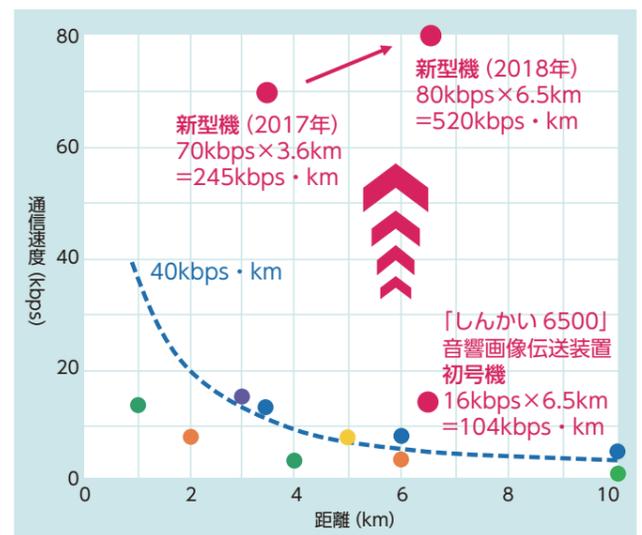
初号機では、音響ノイズの影響などで頻繁に画像が途切れ、ときには1分以上映像が確認できないこともあり。新型機では安定した画像が送られてくるので、オペレーションを指揮するための情報としての信頼度が格段に向上しました。

画像の送信間隔が2秒になったことで、これまでより母船からの小まめな誘導指示が可能になりました。また、指示通りにオペレーションされているかどうか、画像で早期に確認できるようになりました。

初号機は、潜水調査船の内部、上部ともに予備品がなく、メンテナンスも基板清掃程度のことしかできませんでした。新型機ができたことで、老朽化の懸念もなく安定した運用が期待できます。

開発初期段階から、開発チームと運航チームとの検討の場を何度も設けていただきました。新型機には現場の意見が多く取り入れられているため、とても使い勝手のよい装置になっています。このような開発の進め方が今後にもつながれば、現場としてもうれしいです。

次のステップとして、潜航者が監視している船内機器データを画像と一緒に船上へ送信することを検討していただきたいです。潜水調査船内の状況の把握が母船上で可能となり、2018年10月から開始したパイロット1人と観察者2人が乗船する「ワンマンパイロット」の安全運用へつなげると期待します。



音響画像伝送装置の性能比較  
水中音響通信装置の性能評価の指標には「通信速度 (kbps) × 距離 (km)」が使われ、市販品は40くらいである (点線)。「しんかい6500」の新型機は、2017年の試験で、距離3.6km、通信速度69.2kbpsを達成した。2018年に行われた試験では、距離6.5km、通信速度80kbpsの高速通信を達成している。

細な説明はしませんが、それらに適合した技術や知識を選び、最適化していきました」

画像伝送が10秒ごとから2秒ごとに

音響画像伝送装置は、「しんかい6500」に搭載されている送信機、電力増幅器、送波器と、「よこすか」に搭載されている受波器、受信機で構成されている。まず、「しんかい6500」のTVカメラで撮影された映像を送信機に取り込み、1コマを静止画として圧縮、デジタルデータに変換する。さらに、デジタルデータを音波の周波数や位相に割り当てる変調を行い、電力増幅器を経由して送波器から海中に音波を送信する。音波は海中を伝搬し、「よこすか」の受波器に到達する。受信機で変調信号をもとのデジタルデータに戻す復調を行うと、静止画がモニターに映し出される。

初号機の通信速度は、6,500mの距離で16kbpsだった。bpsは通信速度の単位で、1秒間に何ビットのデータを送信できるかを表す。では、新型機の通信速度は？ 2017年3月の試験では、3,600mの距離で最高速で69.2kbpsを達成した。通信速度を単純に比べると、16kbpsから69.2kbpsへ約4倍も向上している。

水中音響通信では通信速度は距離に反比例するため、装置の性能を比較するには、「通信速度 (kbps) × 距離 (km)」という指標で比較すればよい。初号機は16kbps×6.5kmで104である。市販されている標準的な水中音響通信装置の値は40くらいだから、初号機も十分高性能であるといえる。そして新型機は、69.2kbps×3.6kmで249。性能評価の指標でも、初号機から大幅に向上し、かつ市販の水中音響通信装置の性能を大きく上回っていることが分かる。

初号機は、画素数が256×240の画像を約10秒に1枚送ることができた。新型機では、画素数が320×240の画像を約2秒に1枚送信できるようになった。「10秒に1枚と2秒に1枚。その違いは大きい」と志村さん。10秒ごとでは、1枚目に写っていた魚が2枚目ではフレームから外れて見失ったり、珍しい生物が横切っても1枚目と2枚目の間だったために気付かなかったり、ということが起こり得る。2秒ごとに間隔が短くなると、そうした懸念は減る。また、画素数が上がったことで画像が鮮明になった。さらに、初号機では復調に失敗して画像が欠けてしまうビットエラーがしばしば起きていたが、新型機ではほとんど発生しない。

これほどの高性能を実現できたのは、プロトタイプ製作をインハウス、つまり海洋基幹技術研究部内部で行ったことも大きく効いている、と志村さんは指摘する。「インハウスにすることで、細部まで設計や性能にこだわりながらも、速く、そして低コストで製作することができました」

2018年度から実運用を開始

2017年3月の試験後、実装機を製作。2018年度から「しんかい6500」に搭載して、実運用を開始している。そして、「研究者と運航チームからの声」で紹介しているように、新型機は現場から高く評価されている。志村さんは、「今回、基礎研究の成果を具現化し、しかも深海調査研究に役立つ実用機になりました。工学研究者としては、とてもうれしい」と語る。

2018年に行われた試験では、6,500mの距離で80kbpsの通信速度を達成。性能評価の指標は520となり、まさに飛び抜けている。志村さんは、「今回新しくしたのは、音響画像伝送装置のうち送信機と受信機だけです。送波器や受波器も新しくしたりすることで、さらなる性能向上を図っていく計画です」と意気込む。