

生研公開講演

## 海底ケーブルの建設保守と水中ロボット

浅川 賢一 (海中工学研究センター 客員教授)

浅川でございます。少し簡単に自己紹介をさせていただきたいと思います。

私、約20年ぐらい前にKDD研究所に入りまして、それからずっと海底ケーブルの建設と保守、とくに水中ロボットの研究開発を中心に、約20年間やってきました。こちらの生産技術研究所のほうには2年ぐらい前から客員としてお世話になっています。つい最近KDDから、6月1日から、海洋開発技術センターのほうに転職しました。今度は海底ケーブルを使った地震とか科学観測用のネットワークの研究をしています。今日は、いままで20年間やってきました水中ロボットと海底ケーブルの建設・保守技術の概要をご紹介させていただきたいと思います。

(スライド)

今日の内容ですが、まず最初に、建設と保守技術のご説明をする前に、せっかくの機会なので、現在海底ケーブルの技術がどうなっているか、簡単にご紹介したいと思います。そのあと建設と保守のお話をさせていただきたいと思います。

(スライド)

まず、インターネットが最近爆発的に発展しているわけです。これは郵政省のホームページからとってきたのですが、横軸が時間、縦軸はインターネットの普及率を示しています。1995年WINDOWSが発売された辺りからものすごい勢いで発展してきていることがわかります。全利用者数、今は約3000万人ぐらい、2005年には7670万人ぐらいまで増えると予想されています。企業普及率は、最初は10%ぐらいだったのが、1999年では88%ぐらい、世帯でも2年前、約20%ぐらいに増加しているということで、これがどんどんまだ現在でも増えているのだろうと思います。

(スライド)

これはインターネットのホスト数を世界的に比較したのですが、一年で倍増する勢いで増えています。アメリカはほかの国より1桁ぐらい多いのですが、日本もがんばってまして、1996年以前はイギリス、ドイツより下だった

たのですが、今はこの統計では世界第2位でアメリカを追いかけています。この差は、この調子でいくと全然縮まらないのですが、そんな状況にあるわけです。

こういったものを支えているのがコンピュータ技術の発達、もう1つが通信技術の発達、この2つがあってインターネットの発達につながるわけです。逆にインターネットが発達することによって需要が増えて、コンピュータも発達するし、通信技術も飛躍的に発達しているという状況にあるわけです。

(スライド)

これは世代の分布ですが、20代の女性への普及率が圧倒的に高くして50%、20代の女性が、自宅で見ると87%ぐらい、月に50時間以上使っている人が圧倒的に多くて28%ぐらいというような統計もありまして、これを見ると一番使っているのが20歳ぐらいの女性が自宅で50時間以上インターネットで遊んでいるというようなパターンのように見えます。これからどんどん動画がインターネットに入ってくるでしょうから、インターネットの通信の質も変わってくるだろう、そういうふうに思います。

(スライド)

いよいよ技術的な話に移ってきますが、インターネットを支えているバックボーンが光海底ケーブルであるわけです。これは、年とともに海底ケーブルの通信量がどういうふうに変化してきたかを表したものです。

最初の太平洋横断ケーブルは、1989年にサービスを開始しました。これはトランス・パシフィック・ケーブルというのですが、最初の光海底ケーブルはケーブルトータルで1ギガビット以下でした。それが現在はケーブル1本でギガの1000倍、1テラビットを超すか、もう超したか、そういったところまで発展してきているわけです。わずか10年ぐらいで海底ケーブルの総容量は約1000倍以上に発展したのです。

(スライド)

先ほどは、海底ケーブル1本当たりの伝送容量ですが、今度はケーブルの本数とかケーブルの長さがどういうふう

に発展しているかをみます。だいたい毎年10万 km か20万 km 近く増えています。最近の景気の後退で、この先少し伸びがなだらかになるかもしれませんが、それでも伸び続けています。毎年、いまのところ地球を1周かそれ以上の速さでケーブルがどンドン引かれているという状況がこの数年間続いているわけです。

(スライド)

これは、日本の周りがどういうふうになっているか示したものです。陸上ケーブルも含めているのですが、国内ケーブルだけでもたくさんで、この赤いのが一番大規模なもので、これは昔のKDD、今のKDDIが持っているJ1Hというケーブルシステムですが、日本列島を一周しています。

(スライド)

いまのは国内ケーブルですが、太平洋地域を見ましても、こんなにありまして、昔はすぐあれとあれとと数えられたのですが、最近では頭の中を整理するのが大変なぐらいです。とくに東アジア地域は最近建設ラッシュが続いています。そのうちごちゃごちゃして書けなくなるのではないかと思います。

例えば相模湾、ここら辺にケーブルが集中しているのですが、あともう敷設する場所がないといったような状況になりつつあるわけです。

(スライド)

こういったバックグラウンドがありまして、海底ケーブルを建設したり、保守したりする技術が、いままで以上にどんどん重要になっているわけです。

(スライド)

せっかくの機会なので、簡単に光ファイバー通信技術もご紹介をしたいと思います。

この辺は皆さんもご存じだと思うのですが、光ファイバーは、石英のガラスの細い線なんです。コアというところ、これは10  $\mu\text{m}$  弱ぐらいですが、ここを光が通ります。その周りに直径100  $\mu\text{m}$  ぐらいのクラッドがあります。

(スライド)

コアは屈折率が高いので、光は、実際にこういう反射しているわけではないのですが、こんなイメージで通っていく。非常にロスが少ないので、効率のよい伝送ができるということです。

(スライド)

光海底ケーブルの構造ですが、光ファイバーは細いので、外圧、水圧とか、あるいは敷設時、改修時の張力から保護してやらないといけないというわけで、ケーブルの真中に入れます。この中に数本から十数本ぐらい入っています。

その周りを、三分割にした鉄片を円柱状に組んだもので保護して、その周りをピアノ線で保護する。それがコアになるわけですが、その周りをポリエチレンで絶縁する。こ

れが基本的な無外装ケーブルになります。

無外装ケーブルだけでも、破断張力7トンか8トンか、そのぐらいあって、水深8000 m ぐらいまでですが、敷設したり改修したりすることができることになっています。

ただ、浅いところとか岩盤があるところとかは、外側がポリエチレンだけだとすぐ切れてしまうので、そういう場所では外装鉄線が無外装の周りに配置してケーブル自体を強くして外力から保護しています。例えば岩にこすれても大丈夫なものとか、あるいは船の漁具に引っ掛けられても(本当は引っ掛けられるとよくないのですが)、多少のそういった外力に耐えられるようにするわけです。

(スライド)

これは先ほど出てきた図ですが、10年間で約1000倍の容量が増えたわけですけども、なぜそんなに増えたかということをご紹介したいと思います。

ファイバーを使うことは変わってないのですが、その伝送方式は、この10年間に大きく変わっています。伝送方式は再生中継器、光増幅、波長多重と発展してきました。日本からアメリカまでそのままずっと光が届くわけではなくて、やはり減衰しますので、所々で増幅してやらないといけないのですが、最初のシステムでは、光をいったん電気信号に変換して、中継器の中でもう一回レーザーを光らせて送り出すことで増幅していました。これを再生中継と言います。

そのうちに、非常にうまい方式が開発されてきて、それは、光を光のまま増幅してやろうというもの。ただ、電気はいらぬわけではなくて、光を増幅するためのエネルギーは電気で送っているのですが、電気信号に変えなくて光のまま増幅するといううまい技術が実用化されました。

さらに波長多重。今度は1つのファイバーの中を、例えば赤とか緑とか青とか、いろいろな波長で同時に信号をたくさん送ってしまうという技術が出てきたわけです。

(スライド)

表にしてみますと、再生中継では280~560メガビット毎秒ぐらいの伝送速度でした。光アンプになりますと、急にこれが1桁増えてきて、2.5ギガビット毎秒ぐらい。波長多重ですと、1つの波長に5ギガビット毎秒割り当てて、それを最初は16波長ぐらいから始まったのですが、今96、これもちょっと増えつつあるのです。そういったブレークスルーがこのわずか10年の間に3回もあったのです。最初第一世代、95年ぐらいに第二世代、そして99年に第三世代になりました。ブレークスルーというのは、何十年に1回なんだろうと思うのですが、光ファイバー通信技術では、こういうものが10年間に3回も起こったのです。もともと素性がよかったのだと思うのですが、ほんとに革命という言葉がぴったりくるのではないかと、そうい

うような気がします。

現在もこの技術というのはもっともっと進捗しつつあるわけで、一波長あたりの伝送速度を速くすることと、波長数を増やそうという研究がされているわけですが、だけど、だんだん理論的な限界に近づきつつあるなというような感じはしてきています。

(スライド)

これは光増幅アンプの簡単な原理なのですが、ポンプレーザーを利用します。1.55  $\mu\text{m}$ の弱い光が来ると、このエルビウム添加ファイバー、これが非常にうまく具合に、このファイバーを使うと、ポンプレーザー光で、このエルビウムが励起されるわけですが、誘導放出により微弱な1.5ミクロンの光が増幅されるのです。増幅する過程で電気を使いません。光を光のまま増幅してしまうという技術を使っているわけです。

(スライド)

これは波長多重を漫画的にかいたのですが、波長1, 2, 3, 4, 色が少しずつ違うわけですが、そういったものを1つの光ファイバーの中に入れていくのです。

(スライド)

最初の世代は、16波長を使ったのですが、だんだん波長を広げて、広げるに伴って、いろいろな分散だとかなんとか難しい問題があったのですが、そういったものを解決しつつ現在では96波長ぐらいまで1つのファイバーの中で伝送するシステムが実用化されています。

(スライド)

これは実際のスペクトルです。30ナノメートルの波長の中に0.3ナノメートル間隔で、だいたい100波長弱ぐらい入っています。

(スライド)

波長多重、Wavelength Division Multiplex (WDM) というのですが、こういったものを使うと1本のファイバーあたりの伝送容量が増加し、通信コストが下がります。

もう1つは、柔軟なシステム構成が可能になります。例えば、最初は需要がないとき、波長の数をちょっとしか使わないでおいて、あと数年して需要が増えてきたら波長をどんどん増やすとか、あるいは波長ごとに行き先を変えてやることができます。いろいろな柔軟なシステム構成が可能になるというのが波長多重システムの特徴になっています。

(スライド)

これが海底中継器で、水深8000mまで耐えることができます。長さが1.5m、直径が200mぐらいです。もうちょっと最近は大きいものもありますが、これを50km、あるいは80km間隔で海底に沈めているわけです。

(スライド)

これは写真です。中継器、端局装置、こういったものを

使っています。

(スライド)

ケーブルの構成ですが、昔はケーブルというのは1地点と1地点を直線的に結ぶだけだったのですが、最近はこのようにリング構成というのがふつうになっています。A局、B局、C局と、たくさんあるわけですが、A局は1本でリングに結ぶ、B局は2本で結ぶ、C局はこう、あるいはD局はこんな結び方、こんなことをやっているのです。

なぜこういうふうにするかということ、最近新しいケーブルはどんどん伝送容量が大きくなっていますので、新しい伝送容量が大きいケーブルが万が一切れると、従来のケーブルではバックアップしきれなくなっているのです。そうすると自分自身でバックアップしなければいけない。例えば、リング状のケーブルでは、1ヵ所切れてもネットワークとしては生き残ることができます。

(スライド)

ケーブルというよりは、ネットワークになっているわけです。そういったものを可能にするのは海中分岐で、文字通り海中でケーブルを分岐します。

(スライド)

次に建設と保守についてご説明したいと思います。

海底ケーブル建設を、どういう手順でやるのかということ、最初に簡単にご説明します。

最初は、ケーブルルートを決めるのですが、いきなり海底ケーブルを敷設するのではなくて机上でルート選定を行います。どういうことを条件として考えながらやるかということ、まずルート長ができるだけ短いこと。あと、漁業区域では、例えば水深1000とか2000m以下では、海底ケーブルを海底面に埋設するということが行われています。埋設工事はコストが高いので、この区間はできるだけ短くする。この問題は実はあとから説明するロボットが必要になってくる大きな理由ですが、海底ケーブルの障害原因を調べてみると、多くは、網とかにひっかけられる障害なのです。そういう障害を防ぐためには、海底ケーブルを海底下に、例えば1m、2m、深いところでは10m近くというのものもあるらしいのですが、埋めて保護するのです。ただ、埋めるということは非常に大変で、ふつうは海底ケーブルは海底に置くだけなので高速に敷設できます。そのために海底ケーブルというのはコストが安くなるのですが、埋めるためには非常に手間がかかるのでコストがかかる。そこをどういうふうに効率的にやっていくかというのがひとつ課題になるわけです。

(スライド)

次に投棄区域、あるいは投錨区域、海底火山などの危険区域を避ける。急斜地を避ける。ほかにもたくさんあるのですが、こういったいろんなことを考えてルート選定を最初にするわけです。

(スライド)

陸揚げ地も簡単にどこでも揚がるというわけではなく、大型船、あるいはケーブル敷設船の接近が簡単にできるところ、あるいは国内伝送への接続が簡単にできるところ、あるいはほかのケーブルとの輻輳が少ないところを選びます。先ほど言いましたように相模湾などですと、次に新しくケーブルを引こうと思ってもなかなか場所がないということがあるわけです。日本の場合は、とくに漁業関係者の理解が得られないとなかなかうまくいかないことがあります。また、交通とか電力、その他の条件が整っている必要があります。あるいは最近では、こういういい場所が見つからないと、日本では少ないのですが、外国ですと陸揚局舎が、海岸から30 kmも40 kmも内側にあるという場合もあります。そういう場合は、通信は光なので、電磁誘導の影響を受けないのですが、給電線が中であって、それは電磁誘導の影響を受けますので、電磁誘導を受ける可能性がある場所を避ける必要があります。

(スライド)

実際にケーブルの敷設工事とか敷設設計がどういうふうになっているかという話ですが、海底ケーブルというのは水中でどうなっているか、水中で宙吊りになっているのかとか聞かれるのですが、実はそうではなくて、こういうふうに海底の起伏にあわせて敷設します。海底といっても平らではなくて、山あり谷ありで複雑なのですが、海底の長さよりも、わずかの量ですが、余分に海底ケーブルを送り出してやらないと宙吊りの区間ができます。余長のことをスラックといっているのですが、そのスラックもせいぜい数パーセントです。これが例えば太平洋横断ですと8000 kmあるのですが、1%余分に入れると、1%で80 kmでばかにならない。非常に高精度のスラック制御をやらなければいけないのです。

(スライド)

精密な敷設を行なうために、コンピュータシミュレーションを用いた研究が行なわれています。その1つの例がこれなんです。海底ケーブルは水中で直線的な形状になっていることが分かります。横軸が距離で縦軸が水深、断面を表しています。ところが中継器があると、重いので中継器だけ先に沈んでいく。そうするとどういうことになるかという、中継器より先のケーブルは中継器の重さに引っ張られます。スラックを計算すると、中継器より先はスラックが足りなくなって、手前はスラックが余ってしまう。そういったことがあります。

この例は中継器のある場合ですが、例えば山がある場合どうか。地形が変わる場合どうか。こういったようなシミュレーションなどをしながら、最適な敷設設計をします。

(スライド)

いよいよロボットに関係してくるところをご説明したい

と思います。

まず埋設ですが、埋設といいますがいろいろな埋設手段があります。ここに書きました曳航式、鋤で海底を掘りながら埋設していく方法、浮遊式のロボット、海底素行式のロボット、水中バックホー、あるいはダイバーで埋設する方法、大雑把に言ってこのぐらいあるのかなと思います。それぞれ一長一短があります。

曳航式の埋設機というのは、船で引っ張っていくわけですが、非常に効率がいい方法です。ただ、あまり深いと、曳航張力が高くなりだんだん難しくなってきます。

(スライド)

浮遊式水中ロボットは、ウォータージェットを使って埋設するのですが、曳航式に比べると速度が遅く効率が悪いけど複雑な作業ができます。例えば修理後にある区間だけ埋設しなければいけないという場合は、曳航式埋設機はちょっと使えないので、浮遊式水中ロボットを使います。あるいは地形が複雑なところでも浮遊式水中ロボットが利用されます。

もう1つ、同じ水中ロボットですが、キャタピラ式で動くロボットも使われています。これですと、浮遊式ロボットに比べてがっしりとしてますので、カッターなどを使って硬い岩盤地域に溝を掘って埋めることもできます。

(スライド)

これは曳航式の、鋤式の埋設機ですが、曳航ワイヤーで引っ張りながら海底ケーブルを同時に埋設してしまうというものです。これはNTTが使っているものです。テレビカメラがあって、前方の監視をしながらケーブルを埋めていきます。こういう構造になっているのですが、ディスクカッターとか、鋤で、海底に1 mから1.5 mぐらいの溝を掘りながら、同時にその溝に海底ケーブルを埋めていくという作業をします。

(スライド)

これは水中バックホーです。ダイバーによって操縦されます。ちょっと視界が悪いのですが、ウォータージェットを海底に噴射させて、溝を掘って、そこに海底ケーブルを落とし込みます。

(スライド)

次にその他のロボット技術をご紹介します。

これは浮遊式の水中ロボット、これも光海底ケーブルができた約10年ぐらい前に開発されたものですが、今はあちこちで、石油関係でも一般的に使われているものなので、皆さんもご存じの方は多いと思います。テザーケーブルで母船とつながっていて、母船から遠隔操縦されます。ウォータージェット、海底に溝をつくって、そこに海底ケーブルを落とし込みます。電力はテザーケーブルで、船上から送られます。ウォータージェットだけではなくてマニピュレーターも持って行って、いろいろな複雑な作業ができます。

(スライド)

10年ぐらい前のロボットで恐縮なんですけど、最近もそれほど変わってないのですが、最大水深は2500m、重量3.6トンのロボットです。主な機能として埋設、埋設深度調査、ケーブル切断、リフトロープの取付、障害物除去、海底状況調査、こういったものができます。

搭載機としてはカメラのほかに海底ケーブル追跡用のセンサー、超音波観測ソナー、音響測位レスポンス、ウォータージェット、こういったものを積んでいます。

(写真)

これはクローラタイプの写真です。搭載しているものは先ほどの浮遊式と同じようなものです。浮遊式というのは、水中重量がゼロになるようにできていて、水中を自由に動くのですが、こちらのほうは、水中重量を重くしてあって、安定に動けるようにしています。ただ、キャタピラーで動くので、それほど自由度はありません。その代わりに安定しているので深い穴が掘れるということになります。

(スライド)

キャタピラー式の場合はウォータージェットだけではなくて、つめ付きのホイールとか、あるいはチェーンカッターを使うことができます。

(スライド)

いままでご紹介したのは、完成された技術なんですけど、新しいロボット技術も最近になって実用化されつつあります。それは何かというと、自律型水中ロボットなんです。

(スライド)

自律型水中ロボットは、母船とロボットの間の専用ケーブルがない。ほとんどの情報処理をロボットに内臓しているコンピュータで行って自律的に動いていくロボットです。通信を全然母船との間でやらないかということ、そういうことではなくて、超音波を用いて通信をします。

自律型の究極の姿というのは、自分で全てを判断して行動することですが、現状のコンピュータ技術では、なかなかそこまで一気に進むのは難しい。実用化を考えた場合に、簡単な判断は内臓のコンピュータで行ない、高度な判断は人間が船の上でして、それを超音波で伝授しようというような戦略をとるわけです。

これで何ができるかということ、電力は電池で限定されていますので、海底ケーブルの埋設とか、そういう作業はできないわけです。埋設深度調査、あるいは海底ケーブル建設前の海底状況調査を専門にやります。調査しかできないのですが、ローコストで効率よくできるといったところが、これの特徴になるわけです。

ほかに特徴としては、テザーケーブルがなく、潮流の影響を受けなくて安定して自由に走行できることが上げられます。

潮流の影響がロボット本体とテザーケーブルとどっちが

大きいかといいますと、断面積を計算すると簡単にわかるのですが、テザーケーブルに受ける潮流の影響のほうが圧倒的に大きいのです。そのために有索式ロボットですと、例えば潮流が2ノットぐらいあると、動けなくなってしまうわけですが、この自律型ロボットですと、パワーにもよるのですが、2ノットぐらいの潮流があっても問題ありません。表層で、4ノット、5ノットあっても、通常海底の近くですと、1ノットぐらいの速さしかないので、そういったところでも動けます。有索式ロボットですと、ほとんどお手上げになってしまうのですが、そういったところでも調査が非常に安定してできるというのが大きな特徴になります。

もう1つの特徴は船上設備がないことです。ケーブルドラムとかウインチがないということは、小型船でもオペレーションができるということで、船の費用が安くなります。そのために海底ケーブル埋設深度調査がローコストで効率よくできるということになるわけです。

なぜ、これが今発展してきたかということ、先ほどのインターネットと同じエレクトロニクスとか情報処理技術の発展に加えて、もう1つは電気自動車にあるように、電池技術がこのところ発展してきたということがあると思います。

オールマイティではなくて弱点もあります。パワーが必要な作業はできない、あるいは高度な判断能力は現状では不足しているわけですが、こういった弱点があっても長所があるので、いろいろなところに使えると思います。

(スライド)

これは海底ケーブルの埋設深度調査をどういうふうに行っているかを書いたものですが、先ほど申しましたように海底ケーブルの中に給電線というのがあって、電気が流せるようになっています。そこに、16Hzから25Hzぐらいの交流電流を流しますと、ここに交流磁場ができます。その交流磁場を、磁気センサーで検知すると、うまくいって海底ケーブルまでの高さとか方向とかが全部簡単に計算できます。そのためにロボットが海底ケーブルに沿って自動的に動いていくことができるわけです。

(スライド)

これはAQUA EXPLORER 2000です。その前にAQUA EXPLORER 2というのが今から4、5年前にできているのですが、その2号機ということで今年完成したものです。ここに磁気センサーを積んでいます。水中では音響をいろいろ使うのですが、例えば通信に使ったり、あるいは前方の障害物を監視するのに使ったり、海底からの高さを測ったりします。ほかに、海底の映像を撮るためのテレビカメラ、それ用のストロボライト、ふつうのライトも積むのですが、そういったものを積んでいます。長さが3m、空中重量が300kgにおさまっています。

主な仕様なのですが、最大潜水深度が2000 m、潜水浮上角度30度。30度近い傾斜があっても調査ができます。最大速度が3ノット、連続で16時間ぐらい潜っていることができる。十分使えるレベルになってきたわけです。

(スライド)

これは先ほど申し上げたことをまとめたものですが、有索式と比べて自律ロボットはコストで優位性があるけれども、作業能力は限定されています。要するに有策式ロボットと自律ロボットというのは相補的な関係にあって、お互いに共存する、使い分けるといった関係にあるわけです。

(スライド)

先ほど申し上げましたように、4年ぐらい前に AQUA EXPLORER 2 というのができまして、98年ぐらいから JIH ケーブルの観察調査を始めていまして、1999年には台湾国内ケーブルも使って、400 km 以上ケーブル調査を行っています。

最近、新聞なんかで話題になりました東大の浦先生と一緒に鯨の生体観測実験にもこれは使われています。これは下のほうで展示されていますので、ぜひごらんになっていただければと思います。

(スライド)

これはケーブルトラッキングしたときのデータの1例ですが、最初は海底ケーブルを横切るように進んでいって、ケーブルを見つけると自動的にターンして追跡を始めます。一回追跡を始めると、まずこれを放すということはありません。

(ビデオ)

短いビデオがありますので、紹介します。

これは台湾沖での映像ですが、このときはほかの作業もあったので、非常に大きな船を使っています。このときは24時間体制でやりまして、オペレーターが4人しかいなくて非常に大変だったのですが、2人いればオペレーションできます。上げ下ろしのときだけ大勢人がいるのです。いったん水に沈ずると、ほとんど船上では操作は必要ないので、1人でも操作は可能です。したがって夜間でも調査ができます。

夜間で、下ろすのは簡単ですが、回収するとき見つけるのが大変ではないかと思われると思うのですが、小さなLEDがついているのですが、非常によく見えまして、1 km ぐらい離れていても、すぐ見つけることができます。昼間よりも見つけるのはたぶん簡単です。最初非常に心配したのですが、やってみるとどうってことはなかった。

(スライド)

これは別の実験で、沖縄で、鯨の調査に使ったときのものです。このときは10トンぐらいの船で、港から引っ張っていきまして。港から近いと小さい船が使えます。これはコンピュータグラフィックなのですが、ケーブルに沿っ

てこういうふうになります。船上ではこんな絵が見えまして、ケーブルに近づくと、ケーブルがディスプレイに出てきて、ケーブルに沿ってロボットが動いているといったことが、船の上でオペレーターがみることができるわけです。

(スライド)

最後にケーブルの修理を簡単にご紹介して終わりたいと思います。

ケーブルが切れたときにどうするか。もちろん全部換えるわけにはいきませんので、障害のあったところを見つけて、そこを切断してピックアップして、片方にブイを付けてもう一回沈める。他端をまたピックアップして新しくケーブルを継ぎ足して、水深の2倍分ぐらい新しくケーブルを継ぎ足すのですが、それを船の上でつないで、もう一回敷設するわけです。

(スライド)

ケーブル探線機も簡単にご紹介したいと思います。昔から使っている、言ってみれば原始的な簡単な方法ですが、アンカー、探線機といっていますが、これを船で引っ張り、ケーブルを引っ掛けて回収します。こういったことは、有索式のロボットでももちろんできるわけですが、だいたいはこういった装置（これも探線機の一つですが）を使ってやることが多いわけです。いろいろなタイプのものがあります。

(スライド)

こういったものをロボットとは言わないでしょうが、ケーブルを回収するためにはいっぺん切らなければいけないので、切ると同時に、切った片方を保持してそのまま揚げたまま探線機です。

(スライド)

まとめですが、これは私の個人的な私見なのですが、今後発展しそうな分野が3つあります。1つは海底地形調査技術。最近いろいろな技術がありますが、その1つとして、先ほどの自律ロボット、非常に安定して走行できますので、非常に精密な海底調査ができるようになります。

もう1つは、埋設するための海底土質調査技術。例えば超音波とか、最近では海底の電気伝導度を測定することによって、土質、硬いか軟らかいか、調査をする技術です。今日ご紹介できなかったのですが、そういった技術も発達しつつあります。

最後に AUV による埋設状況調査技術。もうちょっとこの AUV も賢くなれば、定期的に、例えば海岸あるいは砂浜から離してやると、自動的に調査して、また自動的に戻ってくるとか、こういったのも近い将来できるのではないかと思います。

以上でございます。どうもありがとうございました。

(了)