



**MAKAI OCEAN ENGINEERING**

MakaiLay  
ケーブル敷設支援ソフトウェア



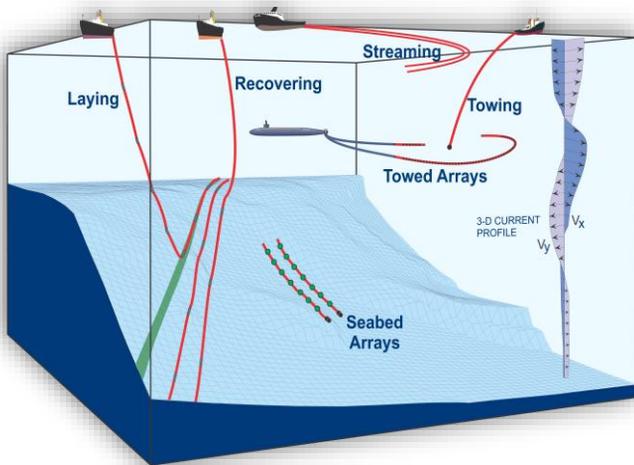
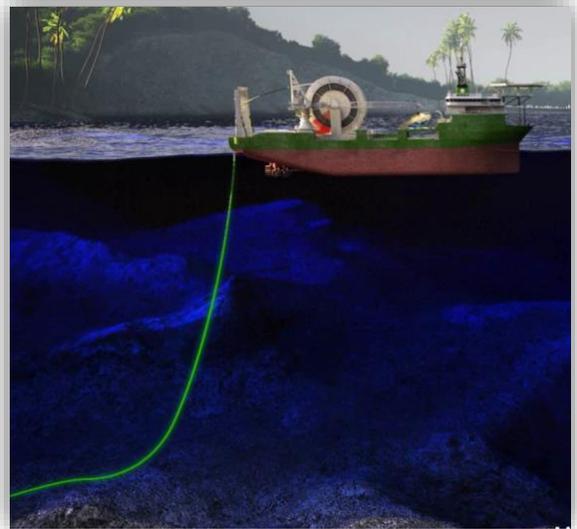
# MakaiLay敷設支援ソフトウェア

MakaiLayはPCをベースとしたケーブル敷設のモニタリングとコントロールを行うソフトウェアです。

世界の80%の通信ケーブル敷設に関わる会社はMakaiのソフトを使っており、既に40万キロメートル以上のケーブル敷設に活用されてきました。

現場でケーブル敷設を実行するには海上に繰り出しているケーブルがどのような状態になっているのか理解する必要があります。MakaiLayでは繰り出しているケーブルが海底でどのような状態になっているのか計算し状態を把握表示し、問題があれば解決策を導き出すシステムです。

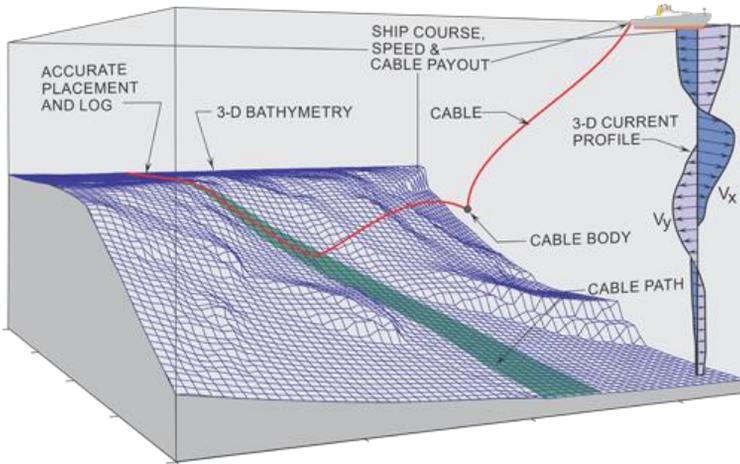
シミュレーション機能を用いれば、ケーブルオーナーはケーブル敷設中に海上でどのようなリスクがあるのか推測出来るため、どのくらいの精度でリスクを考慮したケーブル敷設を行うのか仕様を固めることが出来ます。



## 主なMakaiLay搭載敷設船舶

• TE Subcom	6 Vessels
• Alcatel	6 Vessels
• Global Marine Systems Ltd.	6 Vessels
• Leidos	2 Vessels
• NTT-WEM	2 Vessels
• Asean Cableship Ltd.	2 Vessels
• Elettra	2 Vessels
• Fairfield Nodal	2 Vessels
• Dockwise	2 Vessels
• Solstad	2 Vessels
• SBSS	1 Vessels
• Mitsubishi Heavy Industries	1 Vessels
• International Telecom Group	1 Vessels
• L3-MariPro	1 Vessels
• US Navy	1 Vessels
• CSCC	1 Vessels
• Oceanus Co.,Ltd	1 Vessels

# MakaiLay主な機能



## Planning

MakaiLayには、ルート計画、シミュレーションを行うMakaiPlan Proのほとんどの機能が組み込まれています。GIS内で作業する為、簡単にルートを表示して地形データと対照させる事が出来ます。ケーブルルートは、海図、ルート調査データ等のGISデータ上に取り込まれたものとして直ちに可視化されます。又、操船計画を作成したり変更したり出来ます。

## Simulating

MakaiLayの核心は海底に敷設されていくケーブルの詳細且つ厳密な3次元の動的モデルを示す事が出来る点です。いつでもMakaiLayでケーブル敷設の詳細なシミュレーションが出来ます。敷設作業中のケーブルに何が起るのかを可視化するので、シミュレーションは非常に役立ちます。又、海上で実際に敷設する際の作業計画や、敷設要員の訓練にも役立ちます。

## Data Logging

ケーブル敷設に重要な全てのデータを記録し、その他のデジタルデータも必要に応じ記録できます。MakaiLayはケーブル作業の完璧な記録を作成します。

## Monitoring

敷設船から海底に到る迄のケーブル形状を正確にリアルタイムで計算し、着底状態の信頼性ある記録を残します。常にオペレータはケーブルの挙動を把握し、操船やケーブル繰り出し速度等がケーブルの着底状態に与える影響を理解できます。MakaiLayは潮流と敷設済のケーブル形状を3次元画像で詳しく表示します。

## Navigating

DPシステムと連携して敷設船を直接操船プランに沿うよう誘導することも出来ますし、或いは操舵者に指示を表示する事も出来ます。誘導画面では操船誘導情報の他、GIS環境中で関連のある如何なる情報又は全ての情報を選択表示します。

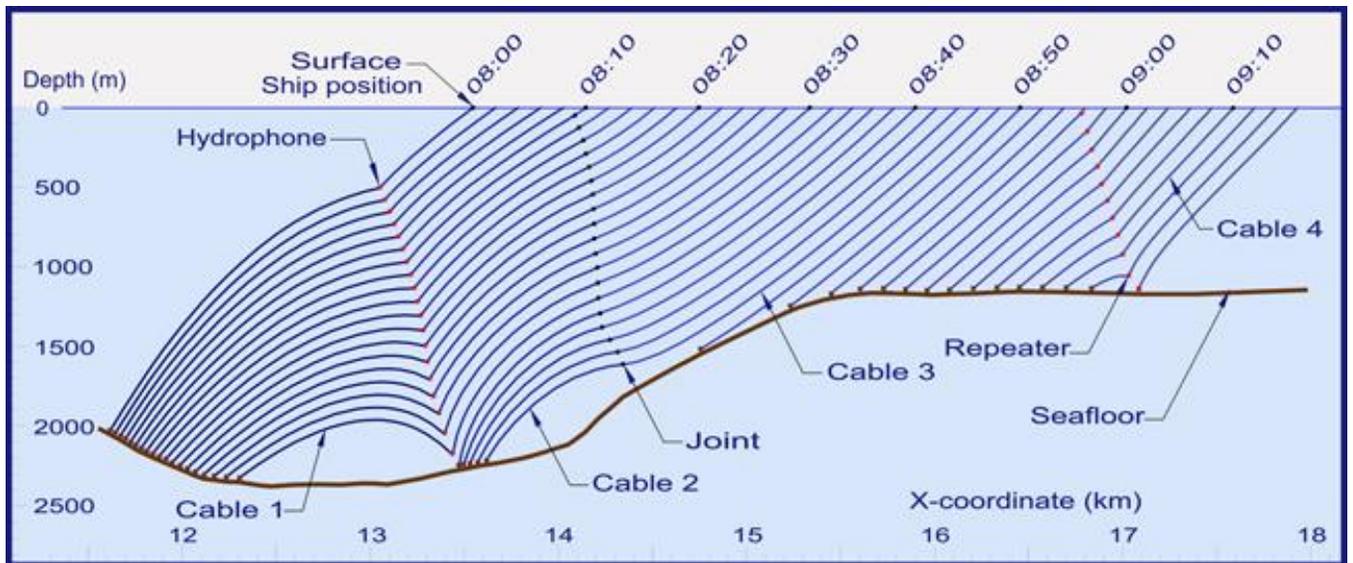
## Controlling

ケーブル繰り出し速度、航路、船速の管理が柔軟に行えます。海底でのケーブルスラック/テンション或いは位置管理の為に今日利用できる最も効果的なアルゴリズムを含みます。

## Reporting

ケーブル敷設に関する広範囲に亘る文書を、詳細な記録データとして、或いはGISの敷設済データベースとして提供します。データの取り出し及び表示、又他のソフトウェアとの互換性等は非常に柔軟です。ユーザーが作成した敷設済ケーブルの図・表、3次元イメージ、敷設作業の概要等は、専用PC或いは船上ネットワーク上でいつでも取り出せます。MakaiLayは船上に設置して繋がれたPCに、必要に応じてデータを配信します。

# MakaiLay 機能・動作 開発について



ケーブル敷設管理システムの第1の目的は、ケーブルを所定の位置に敷設する作業を支援する事です。敷設業者は、ケーブルを所定のルートに指定されたスラックで安全且つ最短時間でケーブルを敷設する責任があります。敷設船の船尾に於ける管理は容易に出来ますが、最終的に求められるのは海底に於ける管理です。敷設船と海底間のケーブルに何が起るか、がケーブル敷設作業に於ける重要な課題です。すべてのケーブル繰り出しの手法は、敷設船と海底間のケーブル形状を描写する何らかの方法に立脚したものです。敷設の成否の度合いは、ケーブル着底状態をいかに適切に計算出来るかに依っています。

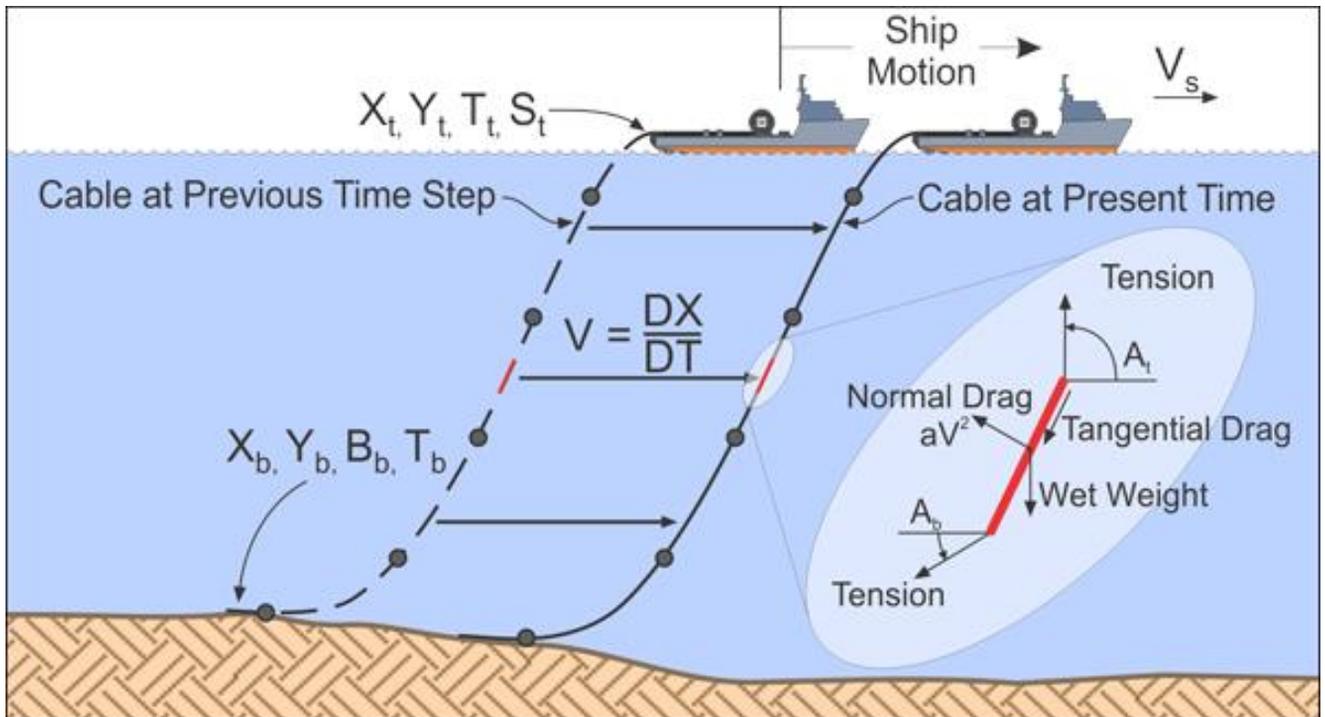
MakaiLayは、ケーブル形状を計算し、その形状をケーブル繰り出し又はスラック管理に利用する事が出来ます。様々なケーブル形状計算方法が、一見同じように見えますが、実はケーブル形状計算法は複雑な事柄なのです。それは、数値モデルに基づいて計算されます。「リアルタイム」や「動的」、「3次元」などの概念が気軽に使えます。数値モデルの質は、ケーブル形状の計算がいかに厳密かによって検証されます。良好なモデルは、実際のケーブルの挙動に対応した動きを予測します。

過去40年間、ケーブルモデルはベル研究所の E.E.Zajac が1957年に開発した静止ケーブルの原理 (steady-state cable principals) 基づいて開発されて来ました。Zajac は静止状態のケーブルを規定する事において優れた業績を残しましたが、彼の方法は当時の演算能力の限界で制限がありました。彼の演算結果は理解し映像化するの簡単(ケーブル角度で規定する)であり、長年ケーブル技術者達に採用されて来ました。静止ケーブルの原理に依るモデルは、ケーブル敷設作業中の常である非静止状態のケーブル形状を厳密に演算するには根本的な制限があります。今日、デジタルコンピュータの進歩のお陰で、もはやこのような近似計算に甘んじる必要はなくなりました。

ケーブル敷設作業の全工程の50%~100% は非静止状態です。ケーブル形状が時間経過で変化するなら、それは非静止状態であり、それは様々な条件で起こります。船速やケーブル繰り出し速度の変化、航路は必ずしも直線ではなく、又、ケーブル上にセンサー、中継器、接合部などがあつたりします。従って非静止状態の計算をする精密なモデルが多くのケーブル敷設作業で必要とされます。

MakaiLay の核心は、敷設船と海底間のケーブルの綿密且つ厳密な数学的モデルにあります。Makai社のモデルは、動的3次元で、素早く且つ厳密にケーブルの物性原理に則ったものです。MakaiLayに入力するデータが正確であれば、ケーブル形状の計算はいかなる条件下においても極めて正確なものです。

# MakaiLay 機能・動作 開発について



MakaiLay は、静止状態と移動状態の区別はしません。全ての解を同質のものとして扱い、如何なる条件下でも適切な形状を計算します。静的及び動的の基本物性がモデルに内包されている為、動的状態においても分析能力は変わらず、正確性は一定しています。「過渡的スラック」(transient slack) などという概念やその他の不安定状態での手修正など必要としません。

マカイのケーブル分析は、実際のケーブル敷設作業中に必要な解答を計算して出します。潮流は敷設作業の総合的物性特性の一部なので、MakaiLay では容易に潮流情報を取り入れられるようになっています。潮流データはADCP で計測し、より精密な敷設作業の際に利用出来ます。MakaiLay のモデルは又、海底でのケーブルにスラックまたはテンションがある場合も計算出来ます。ケーブルがある状態から別の状態に移行する際は、実際のケーブルの動きのように、スムーズな解を出します。

ケーブル分析の重要な側面は、動的条件下での現実のケーブルは不安定ではないということです。ケーブルはスムーズに優雅に作業展開中の動的変化についてゆきます。従って、良好なモデルも同じような動き捉えます。現実のケーブルが海底をジャンプしないなら、モデルケーブルもジャンプしてはいけません。もしそのような事があれば、そのモデルには根本的な間違いがある事になります。

マカイのモデルは海底状態に応じ、ケーブルの直前の状態に基いた実際的で説得力ある形状を継続的に示します。スムーズな形状を出力するのは、ケーブル敷設の適切な数値モデルの結果と言えます。

# リアルタイムモニタリング

Time	Cable in hand	Cable off path	Increment laid	Cable laid	Bottom tension	Inst. bottom Slack	Aver. bottom Sl...	Seabed slope	TD Kp	TD Cable T...	Solution V...
06,22:26:00	2.7 m	0.0 m	206.0 m	490,435.0...	5 N	3.60 %	4.08 %	0.00 deg	477,092.9 m	LW	Valid
06,22:28:00	1.8 m	0.0 m	205.4 m	490,840.4...	5 N	3.53 %	3.95 %	-0.71 deg	477,291.2 m	LW	Valid
06,22:30:00	0.7 m	0.0 m	200.8 m	490,841.2...	5 N	3.48 %	3.82 %	-0.71 deg	477,485.3 m	LW	Valid
06,22:32:00	-0.1 m	0.0 m	205.2 m	491,046.4...	5 N	3.39 %	3.72 %	-0.19 deg	477,683.7 m	LW	Valid
06,22:34:00	-0.8 m	0.0 m	213.1 m	491,259.5...	5 N	3.32 %	3.63 %	-0.19 deg	477,890.0 m	LW	Valid
06,22:36:00	-1.4 m	0.0 m	214.2 m	491,473.7...	5 N	3.28 %	3.56 %	-0.19 deg	478,097.5 m	LW	Valid
06,22:38:00	-1.9 m	0.0 m	215.1 m	491,688.9...	5 N	3.26 %	3.50 %	-0.19 deg	478,305.8 m	LW	Valid
06,22:40:00	-2.4 m	0.0 m	215.9 m	491,904.8...	5 N	3.25 %	3.44 %	-0.19 deg	478,514.9 m	LW	Valid
06,22:42:00	-2.8 m	0.0 m	217.5 m	492,122.3...	5 N	3.20 %	3.38 %	-0.19 deg	478,725.7 m	LW	Valid
06,22:44:00	-3.2 m	0.0 m	219.1 m	492,341.4...	5 N	3.16 %	3.33 %	-0.19 deg	478,938.1 m	LW	Valid

MakaiLay は敷設中その作業を監視し、ケーブル形状と着底状態をリアルタイムで表示します。敷設船の各種機器と連結して必要なデータを受信し、リアルタイムでケーブル形状を計算、現在敷設が進行中の場所、海底におけるスラック/テンション或いはケーブルボディがある場合のその位置を示します。

MakaiLayは、海水中で動き続けるケーブルの形状を通常1分毎に計算します。これは概算や単純化した形状ではなく、詳細且つ精密な3次元ケーブルの計算です。この計算の数学的根拠は、前章で説明した通りです。

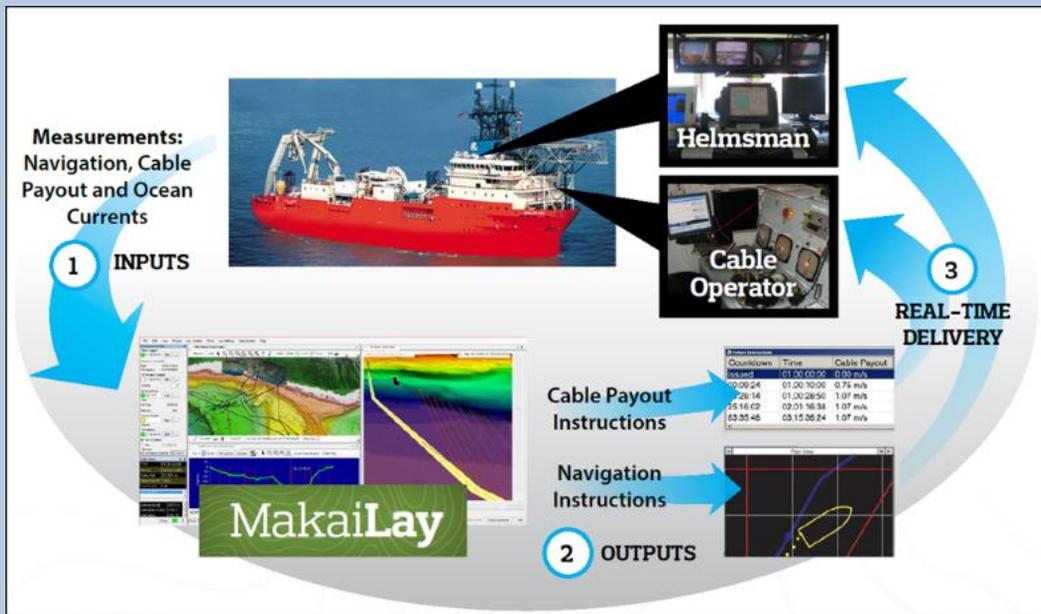
水中でのケーブル形状は3次元で表示され、スラックが計算されます。スラックの計算がゼロになると、プログラムは海底のテンションを計算します。もしテンションの値が高くなった場合、ケーブルは海底面を引きずられている可能性があり、先に着底した時の場所とスラックに変化を生じます。このソフトウェアは次のような条件下でケーブル形状を計算します。

- ◆ 海底でスラックをもって敷設する場合
- ◆ 海底でテンションをもって敷設する場合
- ◆ 海底でスラック又はテンションをもって、ケーブルボディ(ハイドロフォン、中継器等)があるケーブルを敷設する場合
- ◆ 敷設作業を休止・再開する場合
- ◆ ケーブルを回収する場合
- ◆ 先端に何も無いケーブルを降ろす場合

MakaiLay は、ケーブルモデルの分析にリアルタイムで計測した潮流データを取り込むオプションがあります。正確な潮流情報があるとケーブル形状の計算と着底点の予測が向上する事があります。

このモニターシステムは、計算された全てのケーブル形状、動き、着底状態のそれぞれのデータを記録します。これらのデータは敷設後、全工程の正確な再現をして作業の分析をする事が出来るような、完全なものです。最低限これらのデータに含まれるものは、全入力データ、全ての計算されたケーブルモデル、操船及びケーブル繰り出しの全指示です。

# リアルタイムコントロール



MakaiLay のソフトウェアは、今日可能な技術で、最も完全で正確なケーブルの分析モデルを提供します。それは、海底へ降りてゆくケーブルを信頼性をもって現実的にその形状と着底状態を規定することが可能です。

MakaiLay の海上作業分析能力を一歩進めると、この同じ数値モデルを将来のケーブル形状を規定するのに使う事が可能です。従って、これから起こる直近の着底状態がケーブルモデルから合理的に予測する事が可能です。あたかも水晶球を所持するかの如く、敷設過程において予め不具合な着底状態を避ける為の修正が可能になるのです。

敷設工事において最も重要な着底情報は、スラック、テンション及び位置です。ほとんどの通信ケーブルの場合には、スラックを持たせる事が最重要であり、テンションは望ましくありません(スラック要件が満たされた場合、テンションはなくなります)。位置はその次に重要です。MakaiLay は、通信ケーブルを敷設する際RPLで規定されたレベルに海底でのスラックを管理する為、ケーブル繰り出し速度を予測し指示します。

(制御回路: 敷設船のデータは MakaiLay モデルに記録・処理され、将来の着底状態が計算されます。操舵者とケーブル管理者に指示が出されます。)

電力ケーブルは若干のテンションを持って敷設されます。MakaiLay の計算はテンションを持たせた敷設作業にも同様に有効です。

ある種のケーブルは海底の決められた位置に正確に敷設することを要求されます。そのような場合、MakaiLay は海底の要求されたルート付近にケーブルを敷設する為の最適なコースを取るよう航路指示を出すリアルタイムの管理システムとして使えます。

ある場合には、敷設の精度と作業時間のどちらを優先するかの判断を迫られます。MakaiLay は仕様書で決められた誤差の範囲で作業しつつ、敷設・回収に要する時間を最少限にすることが可能です。

“MakaiLay validation” の中で、MakaiLay のこれらの管理能力を実証したいくつかのケーブル敷設作業の実例を紹介します。

# なぜコントロールが必要なのか



ケーブル敷設作業が詳細で適切な操船プランに正確に従って行われたなら、何故リアルタイム管理が必要になるのでしょうか？ 元来、如何なる敷設作業もプラン通りに進行する事はないし、多くの場合最初のプランから大幅に逸脱します。船速がプラン通りという事はあり得ないし、同様にケーブル繰り出しも完璧にプラン通りにいく事はありません。しばしば予定外の休止があり、不測の事態に遭遇します。機器の故障や天候などが当初の予定を大きく変更します。一旦敷設船の状態が予測に相違したら、一体ケーブルはどう扱えば良いのでしょうか？

MakaiLayの海上作業モデルによるリアルタイム管理等の能力を使えば、問題発生前に簡単に信頼できる適正な修正が可能になります。ほぼ全てのリアルタイムな条件下で、ケーブル作業がモニターされ合理的に管理されます

## Seafloor Slack/Tension Control

MakaiLayでは、ケーブルの着底を積極的に管理する為にケーブル繰り出し速度を管理する能力を有します。MakaiLayは、これから生じるケーブルの形状と着底状態を予測する為に、3次元の動的監視演算法(3D dynamic monitoring algorithms)を用います。ケーブルの望ましい着底状態を達成する為に、適切なケーブル繰り出し速度や船速を計算します。

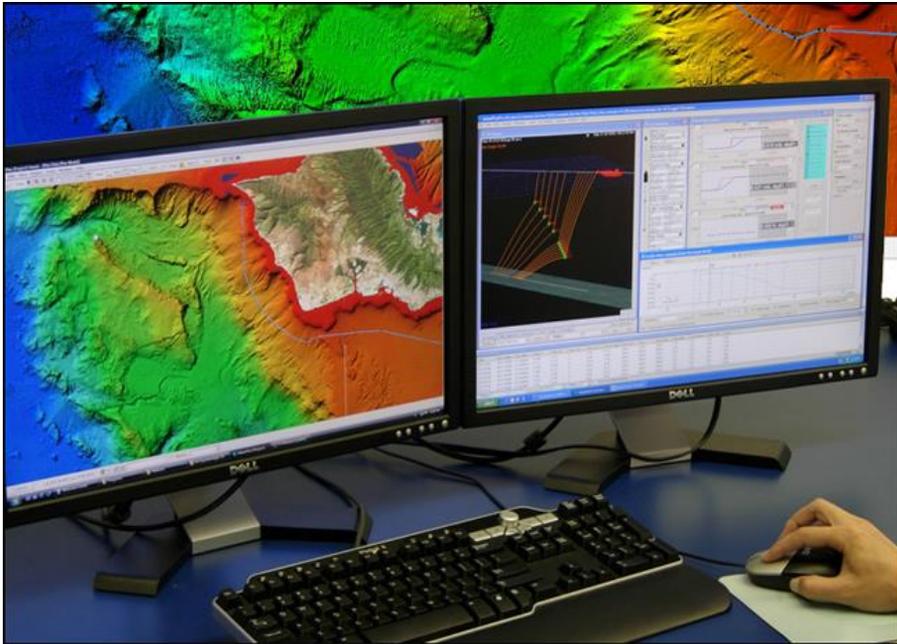
システムは、将来のケーブル形状の輪郭と着底状態のグラフ、船上での状態、船速及びケーブル繰り出し速度等の予測を表示します

## Seafloor Position Control

より高度な敷設の場合、MakaiLayはケーブルの位置管理に利用できます。このような場合、ケーブルを海底ルートに最大限沿わせる為、しばしば1時間からそれ以上先まで拡張した将来予測を使って最適な操船指示を出します。位置管理と同時に、MakaiLayは海底でのスラック管理も致します。

ケーブル敷設業界では長年、一旦ケーブルが船尾を離れたら海底の位置を管理する手段は無いと考えていました。これは当時一般的だった静止ケーブル理論に基いた発想でした。MakaiLayのシミュレーションモードでは、如何なる敷設作業でも位置管理能力は数値化されます。MakaiLayは過去のケーブル敷設作業において、リアルタイム位置管理を実証してきました(“MakaiLay: Program Validation”参照)。海上でのあらゆる状況を把握し、それに応じた決断が下せるというのはケーブル敷設の信頼性と正確性に画期的効果をもたらしました。

# シミュレーション



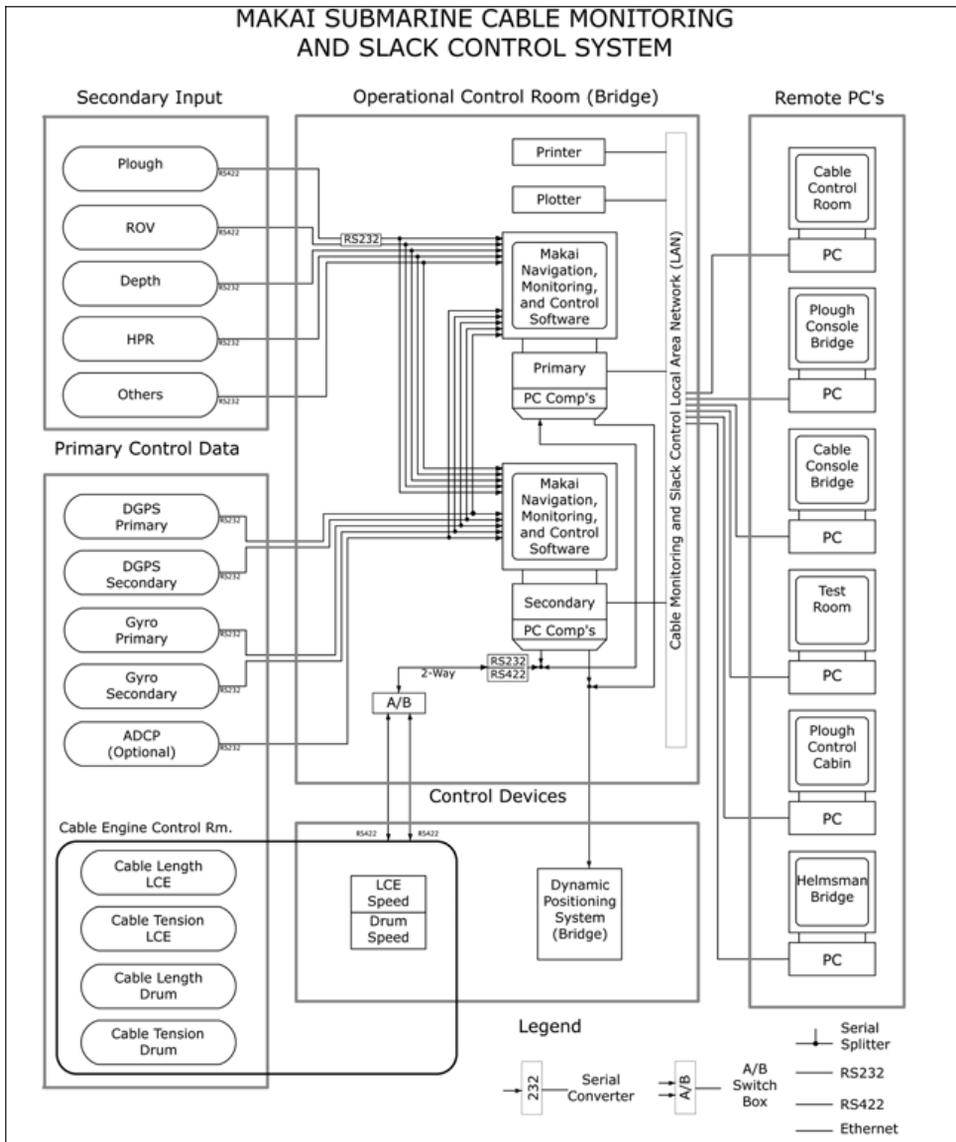
MakaiLay ではケーブル敷設作業の前に、その全工程(又はそのどこか一部分)をシミュレーションすることが出来ますので、次のような事に役立ちます。

- ◆ ある条件下におけるケーブル挙動を理解する。(海底地形からケーブルルートに適しているかどうか等)
- ◆ あるケーブルを特定の機器を用い、或いは規定のプランで敷設が可能か否かを判断する。
- ◆ 特定の操船やケーブル繰り出し行動がケーブルに与える影響を体験的に示す事で敷設技術者達の訓練になる。
- ◆ 敷設に先んじて詳細な操船計画を作成する。
- ◆ 敷設完了後の作業分析

MakaiLay はシミュレーションモードであたかも海上作業をしているかの如く作動し、オペレータは詳細な3次元ケーブル状態が得られます。

シミュレーションでは、実際の敷設作業よりはるかに高速で作業します。パソコンの能力に依りますが、実際より15から50倍の速度で作業を進められるので、30日工程の作業もオフィスで1・2日で完了します。MakaiPlanが作成するGISの地図情報を素早く精査すれば、ケーブル設置の成否は一目瞭然です

# ハードウェア



すべてのMakaiLayの主要な処理は、Windows ベース 搭載の一台のパソコン上でなされます。もう一台の予備パソコンが同時並行して使われます。データの記録が並行してなされ、同時にケーブルモデルが2台のパソコンで計算されます。システムはいつでも予備機に切り替えられます。

MakaiLay は主機と予備機以外の構成に関しては極めて柔軟です。

データは RS232/422/485 又はイーサネットを介して入力可能です。標準構成は32ポートのRS232/422 入力ですが、必要であればポートを増設できます。

MakaiLay は、DP とケーブル管理室に指示を発します。これらの指示は自動制御の場合は機器にケーブルを介して直接指示を送り、手動制御の場合には Makai 連動のディスプレイに送られます。

船上には、従属パソコン (client PC) を必要な数だけ配置します。従属パソコンはMakaiLay 従属ソフトウェア (client software) を搭載してサーバーに依存せずに作動し、イーサネットの主機と繋がれます。

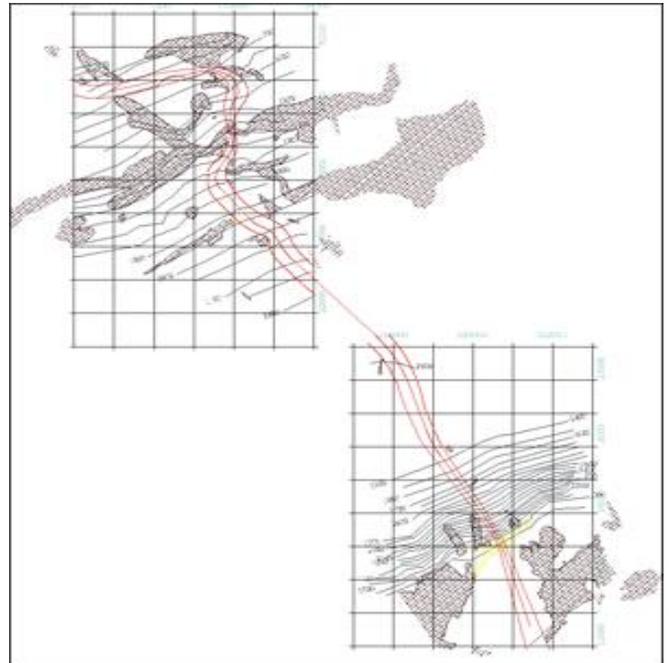
プロッターとプリンターもLAN 接続が可能です。

# 妥当性の確認

マカイ・オーシャン・エンジニアリング社は、海底ケーブル敷設を卓越した理解をもって分析し実行することに奮闘して参りました。1983年から海底ケーブルプロジェクトに携わり、1988年には正式にケーブル部門を創設しました。その時以来、様々な困難を伴うケーブル敷設作業に関わり、その度毎に可能性に挑み、発展させ、実証してきました。ここではこれらの困難な敷設事例を簡単に紹介しながら MakaiLay とMakai社の能力を説明します。

次の3つの事例はMakaiLay が最初に開発された当時の以下のような条件下での敷設作業について述べるものです。

- ◆ 電力ケーブルの敷設
- ◆ 軽量ケーブルの潮流計測しながらの敷設
- ◆ 軽量ケーブルの潮流データなしでの敷設



## Precision Calibration

### Hawaii Deep Water Cable

ハワイ深海底ケーブルプログラム (The Hawaii Deep Water Cable Program – HDWCP) は、米国エネルギー省とハワイ州が協賛した研究開発プログラムでした。その目的は、ハワイ島とオアフ島間に海底電力線を敷設し送電する技術の可能性を判断するものでした。このプロジェクトではそれ迄の電力ケーブル敷設で経験したことのない、次のような問題が課されました。

- ケーブルルートは最大1920m の深さがあり、これはそれ迄に敷設した電力ケーブルの約4倍の深度
- 海底の勾配は 44度の急傾斜
- 海洋条件は全時間の35%で風速35ノットの風が吹き、8フィートの波高と表面潮流が2.9ノットという厳しさ
- 海底条件が厳しい為、敷設可能なルートの幅が極めて狭い。ケーブルは±12mの精度に加え、スラックなし極微小のテンションを持たせての敷設が要求された。

Makaiではアレヌイハハ海峡 (Alenuihaha Channel) を横断するルートサーベ이를指揮し、ケーブルルートの厳しさと要求される正確さから、従来の敷設技術ではうまくゆかないだろうと早々に判断しました。ケーブル敷設過程をより良く分析的に理解する必要がありました。

そこでMakaiは、この電力ケーブルを敷設する為にシミュレーションし、分析し、最終的にはリアルタイム管理システムの中核を為すような速度と正確さをもつ詳細な分析モデルを開発しました。

1989年にはアレヌイハハ海峡のケーブルルートに沿って、試験ケーブルが敷設されました。ケーブルの敷設・回収は3度行われました。このプログラムはケーブル敷設能力的確な試験となりました。海底はロングベースの音響測位システムが基盤目状に形成され(long-base acoustic navigation grid)、敷設中の進行状況を追跡する為にケーブルにはトランスポンダーが装着されました。敷設されたケーブルの位置は誤差1m以内で計測され、有人潜水艇が敷設されたケーブルの海底でのテンションを計測しました。

Makaiの統合管理システム (Integrated Control System – ICS) が敷設船 Flexservice III を誘導し、ケーブル繰り出し速度を指示しました。ケーブル状態はリアルタイムで1分毎に計算され、5分毎に指示が出されました。潮流データが ADCP で計測され、ケーブル状態の計算に使われました

最終結果では、敷設した20kmの全ての箇所のRMS 誤差4.7mで、目標の12mよりはるかに小さくなりました。海底でのテンションの許容誤差も同様に満足いくものでした。

このプログラムは、適切な分析手段を管理システムに組み込めば、ケーブル敷設作業は入念に管理され得る事を実証しました。また、これらの管理に数学的規範体系が有効である事も立証しました

# 妥当性の確認

## Precision Calibration: SOAR-2

Makai社は1990年、HDWCPを成功裏に完成させた後、合衆国海軍施設管理技術司令部(Chesapeake 分隊)と南カルフォルニア対潜哨戒域システムのフェイズII (SOAR II) の設置契約を結びました。SOAR IIプロジェクトでは、1本の長さが40マイルのケーブルが全部で8本あり、それぞれ8個のハイドロフォンと7個の中継器が繋がれていました。ケーブル敷設箇所はカルフォルニア州サンクレメント島沖で最大水深は1,800mありました。この作業は多くの急旋回を含むケーブルルートに沿って、ハイドロフォンを目標位置(海底にXY表示で指定された場所)に設置する事でした。海底での最大許容誤差は90mでした。この場合、ケーブルは予め決められたルートに沿わせるばかりでなく、目標位置に落ちるようケーブルの海底スラックを注意深く管理しなければなりませんでした。

Makai社では軽量ケーブル、スラック条件、ケーブルに繋がれた物体(中継器、トランスポンダー、ハイドロフォン等)等の条件を勘案し海底でのスラックを高度に管理するソフトウェアにする為、数度の改良を加えました。

敷設中、Makaiは5分毎に敷設船とケーブルエンジンに指示を出し、予定外の停止や潮流の厳しい変化があった時にも敷設作業を完全に管理しました。プロジェクトは大成功に終わり、今では哨戒域システムは完全に機能しています。海軍が行った独自調査によれば、ハイドロフォン位置の平均誤差は目標地から46mで、これは最大許容誤差の半分の距離でした。

Makai社が海軍に提供した最も価値あるものは、(MakaiPlan Proの先駆をなすソフトウェアによる)敷設前のシミュレーションと分析でした。Makai社は必要と思われる機器及び費用のリストとそれらで得られる成果を、実際の敷設作業の詳細なモードに基いて提供しました。最終結果はMakaiの予想より若干良好でした。

要約すれば、今日の通信ケーブルより若干軽いケーブルは、潮流を計測しながら敷設され、敷設精度は平均して深度の3.5パーセントでした

## Precision Calibration: AURA – Acoustic Underwater Range in Australia

このプロジェクトでは、水深10mから4,200mの海域で、1本210kmの長さのケーブル3本をその時都合のつく船(ship of opportunity)で敷設すると言うものでした。これらのケーブルは途中で数個のハイドロフォンが繋がれ、それらを予め決められたルートに沿って指定された目標地点に設置しなければなりませんでした。1992年、Makaiのシミュレーションは次の事の為に使われました。

(a) 所定のケーブル敷設機器と海況での設置精度を判断する。

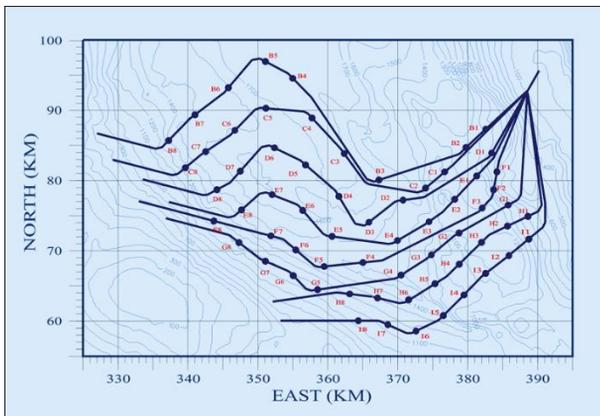
(b) 使用するケーブルの総量を最短に抑え、高価な中継器の追加使用を避ける為にどの程度ケーブルスラックの管理が可能かを判断する。

1994年、南西オーストラリア沖で正確にハイドロフォンを設置する為にMakaiのソフトウェアが使用されました。

オーストラリア海軍が敷設後に行った調査によれば、最終的なハイドロフォンの設置位置誤差は、Makaiのシミュレーターがその作業条件下で実施した敷設前シミュレーションが予想した数値の2%以内でした。たまたま都合のついた船が、波浪の高い海上での船位維持能力の悪い船だったにも拘らず、Makaiの海上でのケーブル管理ソフトウェアを使用したことで、ケーブル敷設業者はシーステート6-7(持続的風速30ノット、10ftのうねり、8ftの波高)でケーブルシステムを正確に管理して設置することが出来ました。

設置位置誤差の絶対値は水深の11%でした。潮流は計測されずシステムに利用される事はありませんでした。ケーブル重量は今日使われる標準的軽量ケーブルより若干軽いもので、ハイドロフォンの重量は最新のケーブル・スプライスと同等の物でした。敷設速度は2-5ノットの間でした。

この敷設作業でMakaiの管理システムは、水深がたったの60mの海域を5ノットの船速で走ってもケーブル敷設を正確に管理し得ることを実証しました



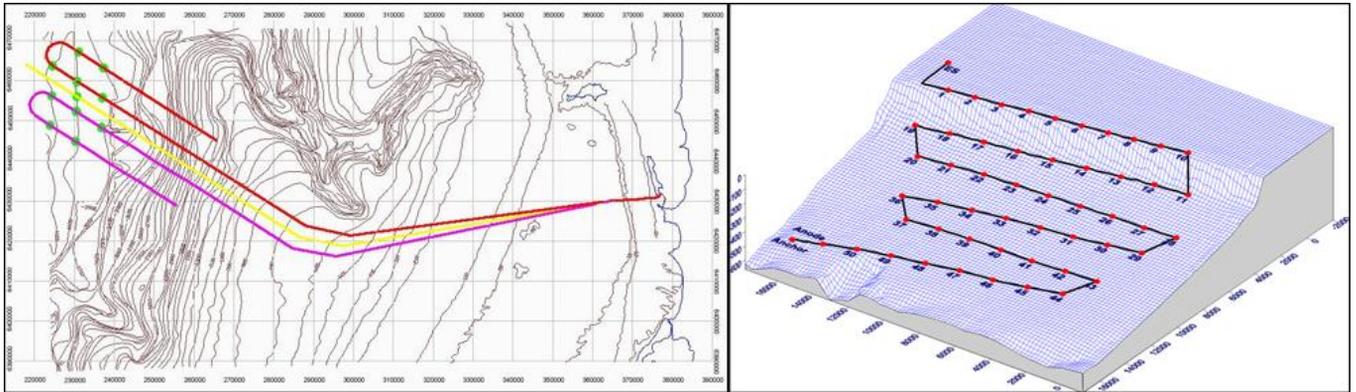
# 妥当性の確認

## Cross-Model Validation:

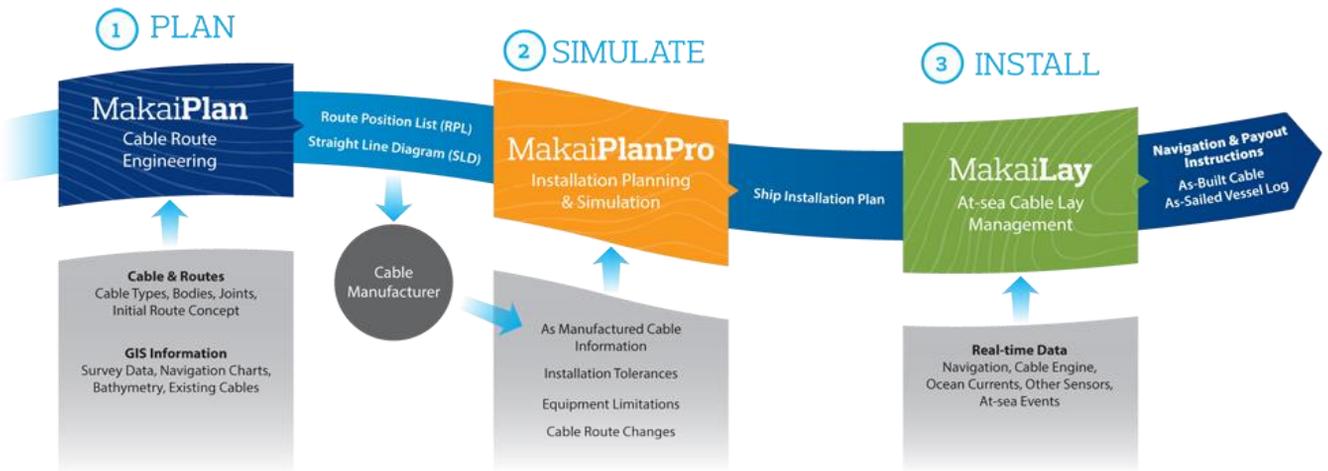
Makaiは又、米国海軍が多数のハイドロフォンを繋いだ直径2-4mmのマイクロケーブルを敷設する際も活躍しています。これは極度に複雑で、数値的に微妙であり、非常に計算の難しいシミュレーションです。海軍では、Makaiの結果が彼らの海上試験結果に匹敵し、米国海軍が所有するソフトウェアの内の最高のものになぞられました。競争相手のソフトウェアと比べると、Makaiは同程度またはより正確な計算結果を何百倍も早く出したのです。

## Precision Calibration: PTS Bahamas

1997年Makai社は米国海軍が可搬型追跡システム (Portable Tracking System) を設置した際には下請業者として敷設に携わりました。当初、Makaiの契約はケーブル敷設シミュレーター (CLS) を使ってシステムを構成する光ファイバーケーブルとそれに繋がれた51個のハイドロフォンの敷設作業で、予想されるスラックの管理と位置管理の精度を判断するするものでした。これらのシミュレーションは、急激なコース変更を伴う場合でもハイドロフォンを目標位置にうまく着底させる為にはどのような速度で作業を展開すればよいかを判断する上でも有益でした



# 基本製品ラインナップ



## MakaiPlan

MakaiPlanではどのタイプのケーブルを敷設に使うのかルート計画のコンセプトを決めて、海底地形の状態や既存ケーブルを避けるよう考慮する、ケーブルルート計画に関連する機能に特化したソフトウェアです

成果物として海底ケーブルの位置のリストRPLが作成されます。

## MakaiPlanPro

計画したルートが無理のないものかシミュレーションを行い、シッププラン(船のルート、船速、ケーブル繰り出し速度)を作成します。

このソフトウェアは水中でのケーブル形状を計算する機能を持ち、これにより船の運航をどのようにすれば海底でのケーブルの状態が理想的なものになるかを定めることができます。成果物は詳細なシッププラン(位置、速度、繰り出し速度等)です。

## MakaiLay

MakaiPlanProで作成したシッププランを使用し、実際に船にてケーブル敷設のコントロール、モニタリングを行います。

予定外の船速や繰り出し速度の変更やルート変更に対応できるよう、リアルタイムにシッププランを変更できるようになっています。