

平成30年09月19日
ワークショップ：海底ケーブルの科学利用と関連技術に関する将来展望

海底ケーブルネットワークの長期運用

東京大学生産技術研究所
海中観測実装工学研究センター
川口勝義

地震観測システムから海底ケーブルネットワークへ

- 日本周辺で発生する地震の80%近くは海底下に震源をもつ
- 地震の発生に伴う情報を精度よく観測するためには、震源周辺に観測網が必要
- 陸上地震観測網の充実に伴い、海域においても同等の観測能力の確保を期待
- 陸上で検証された新たな観測機器・手法を海域にも拡張



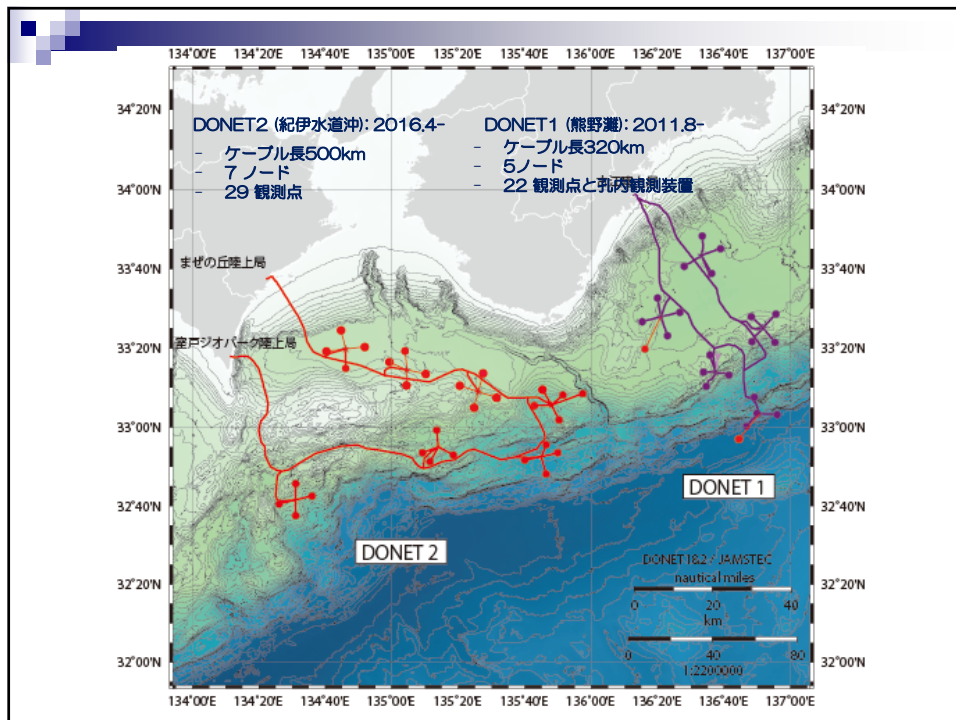
観測点数と観測項目の拡充
海域ではインフラストラクチャと観測点は不可分
システムの大規模化



Dense Ocean-floor observatory Network for Earthquakes and Tsunamis
 高密度地震・津波観測監視システム

DONET1期計画: 2006年計画開始、2011年より運用

DONET2期計画: 2010年計画開始、2016年より運用



海底ケーブルネットワークが解決すべき項目(2005年の振り返り)

既存のリアルタイム海底観測システムは故障が発生した場合の修理の困難さから、構成要素をできる限り高信頼に作り上げることにより一定規模のシステムの中で観測期間中のデータの取得率を高める方法を選択

観測が大規模化高密度化し観測点が増加すれば、全体としての故障の発生という事象を無視することができなくなる。

高密度・多角化した陸上の地震地殻変動観測網に匹敵する海底のリアルタイム観測技術の確立

検討を行うシステムは可能な限り信頼性を確保した上で、故障が発生した場合の不稼働時間を最小にするべく、調査研究用ROV等、科学目的での運用には自由度の高い設備を最大限に利用してメンテナンスを行うことができるように検討する(Replaceable)。さらに、観測網構築の自由度を向上させるために、観測点の追加やセンサの更新(Expandable)についても考慮されたシステムを検討する。また、大規模システムの構築であることを考慮し、システムの一部に不具合が発生した場合でもシステムを構成する他の構成要素にできる限り影響が波及しないようなシステムとしての信頼性(Redundancy)をできる限り確保する。

信頼性

高



故障率を考慮して特別に設計された高信頼性部品をスクリーニング
(数FIT~ MTBF: 100000年程度)

汎用の高信頼性部品をスクリーニングして使用(数十FIT~MTBF: 10000年以下)

工程管理された部品をスクリーニングして使用(数百FIT~MTBF: 1000年以下)

工程管理された部品 (MILやBELLCOREの規定を満足しMTBF等が算出できる)
(数千FIT~MTBF:100年以下)



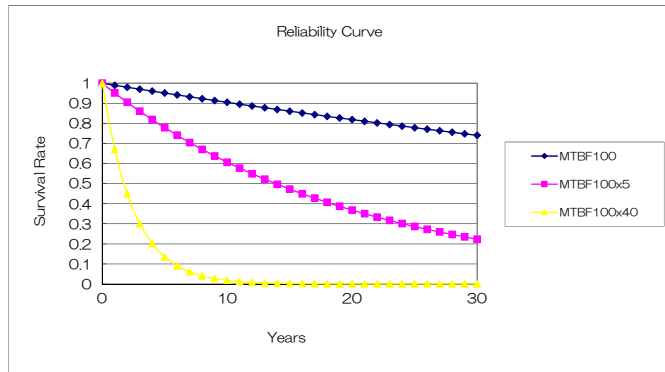
一般流通品

低

FIT(Failure In Time): 稼働10億(10⁹)時間=約11万4155年あたりの平均故障回数
機器の信頼性の例) 商用中継器単体: 50-60FIT、海底地震計単体1000FIT以下

MTBF 100年(約1千万時間)=1000FIT

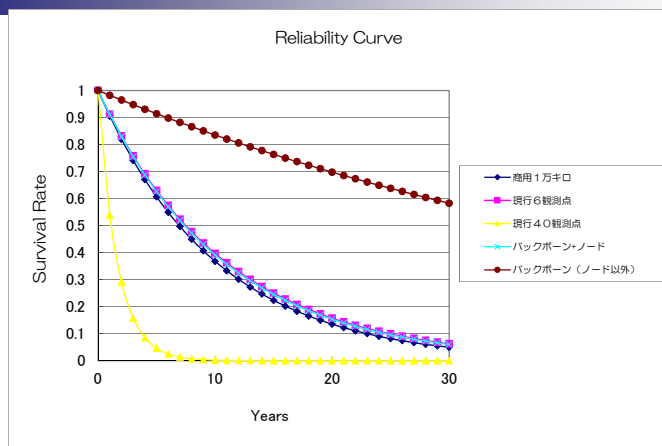
故障率と信頼性カーブ



$$R = e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

・既存のシステムは構成要素をできる限り高信頼に作り上げることで観測期間中のデータの取得率を高める方法を選択してきたが、観測が大規模化高密度化し観測点が増加すれば、全体としての故障の発生(Survival rate Failure Rate)という事象を無視することができなくなる。



観測点の大規模高密度な展開は信頼性の面からも既存の観測システムでは限界があり、新たなシステムの開発が不可欠である。仮定として各構成機器の平均故障間隔を下記のように定義した場合、商用システム、既存システム、検討するシステムに関連するシステムにおける基本的な故障発生率を示す。

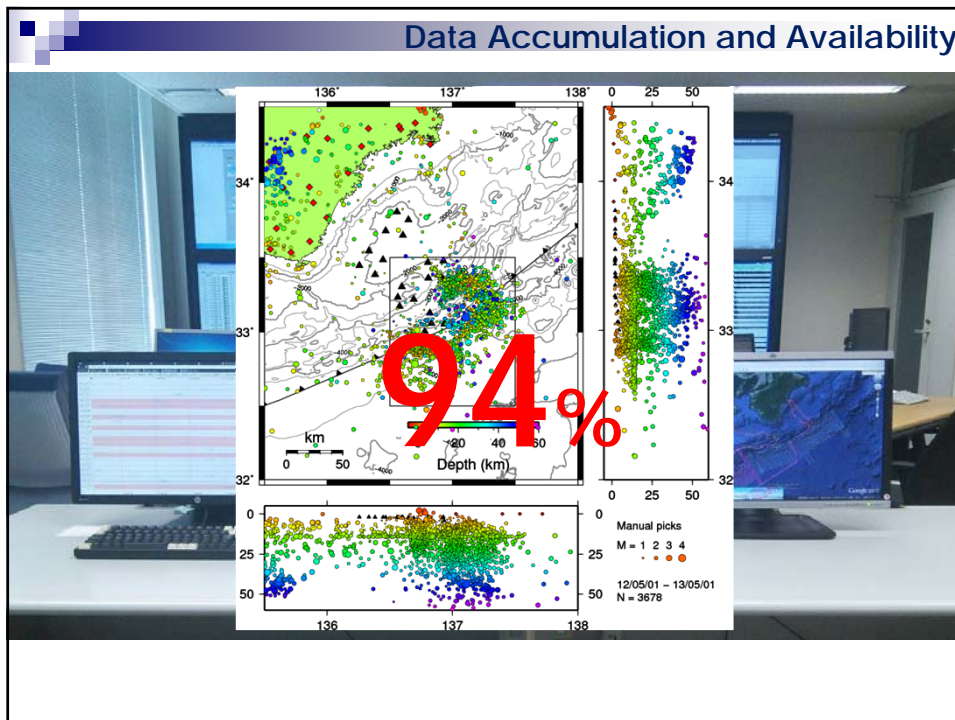
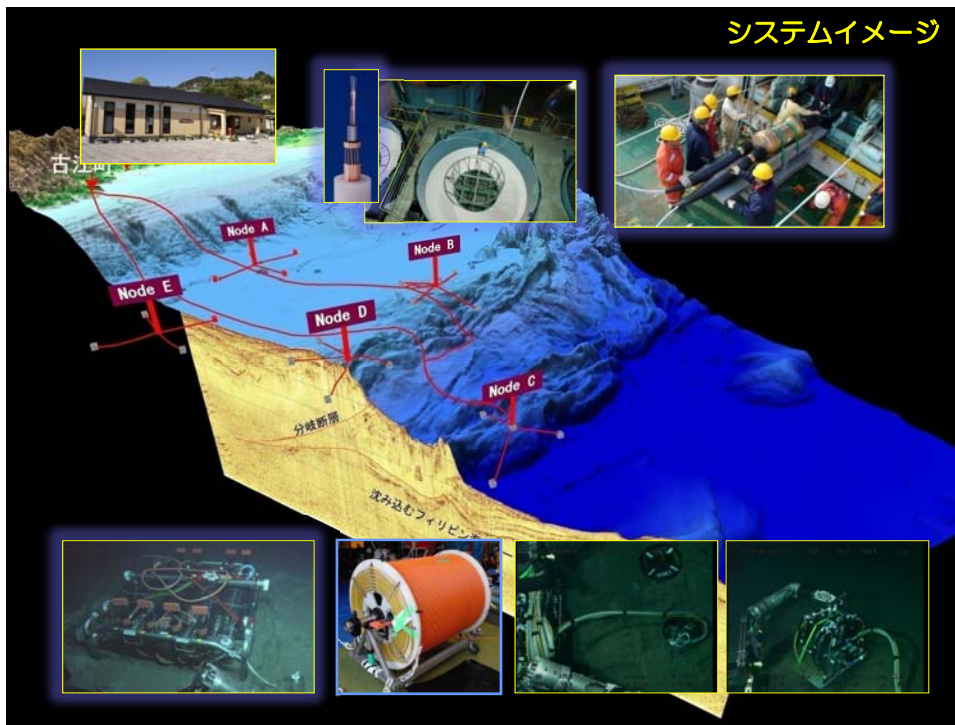
商用ケーブルシステム用海底中継器：MTBF2000年
 (DONET=6, インライン=2観測点に1台、商用1万キロは200台中継)
 インラインセンサー(地震計、津波計等)：MTBF50-100年(ここでは66年と仮定)
 終端装置(水中着脱式コネクタ含む)：MTBF400年(DONET=5)
 分枝装置(BU)：MTBF2000年：中継器と同じ(DONET=5)
 ノード：インラインセンサーと同じ66年と仮定(DONET=5)



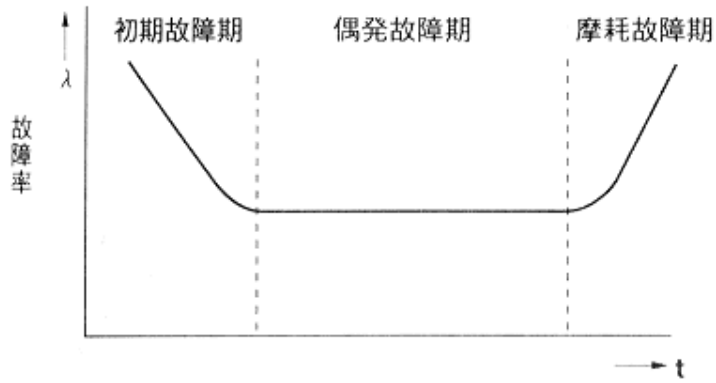
システムの考え方

海底ケーブルネットワーク海中部の構成要素とその特徴

- ・基幹ケーブルシステムには可能な限り既存の商用海底通信の技術を利用し高信頼性を維持しつつ、観測ネットワークの構築に不可欠な伝送分岐、電力分岐を可能にする分岐装置の機能を組み込む。不具合に関しては障害部分を任意に電氣的に切り離せるものとし、その修復には商用の海底ケーブル保守技術を利用する。冗長性を持たせるためにシステムは両端陸揚げとする
- ・ノードには伝送、給電、拡張性などの開発要素を集約する。合わせて可能な限りの長期的な信頼性を確保する。置換機能を確保するために海中で観測装置を着脱することが可能なインターフェースを備えるとともに、研究船による保守作業を可能にする。
- ・観測装置はノードに直接接続するか、展張ケーブルを給電伝送路としてノードを介して陸上端局に接続されるものとし、研究船による保守を可能にする。接続する装置に関しては必要に応じて必ずしも長期的な信頼性保障を行う必要はない。

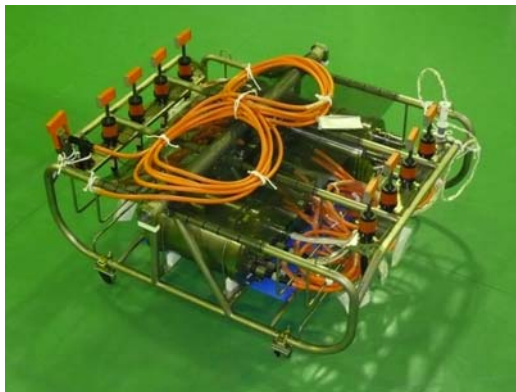


初期不良とエージング (Bathtub Curve)



初期不良（初期故障期）や寿命（摩耗故障期）における信頼性は、信頼性カーブ（偶発故障期における挙動）には乗らない、これらを守るためには**十分な Screening(目視検査やAging(加速度試験や熱試験))の実施が必要。**

拡張用分岐装置 (ノード)



データ伝送



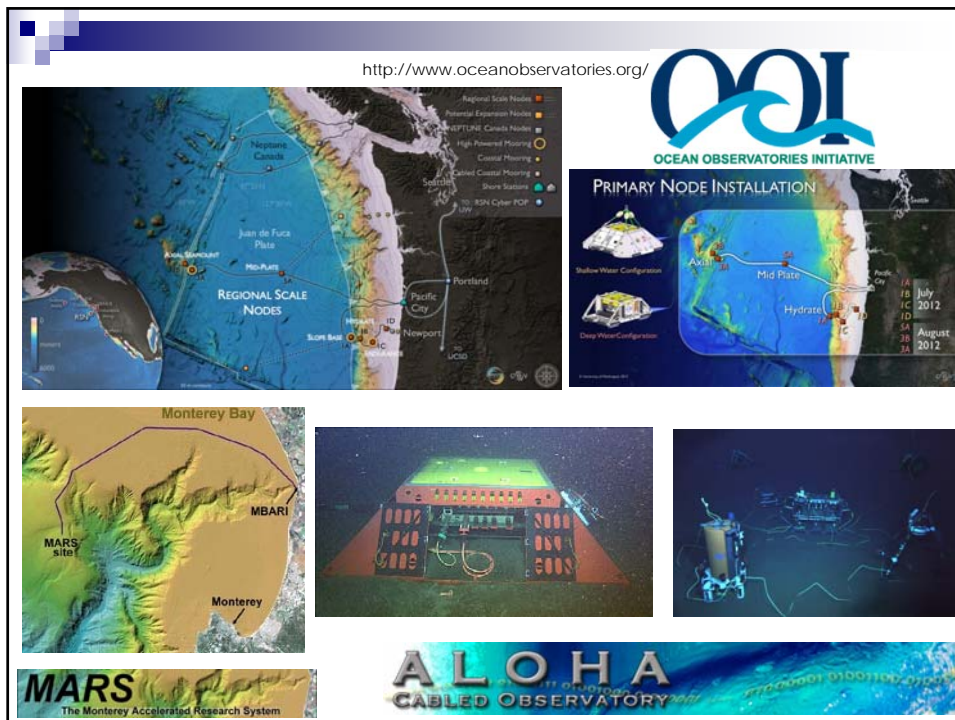
時刻同期



電力分配

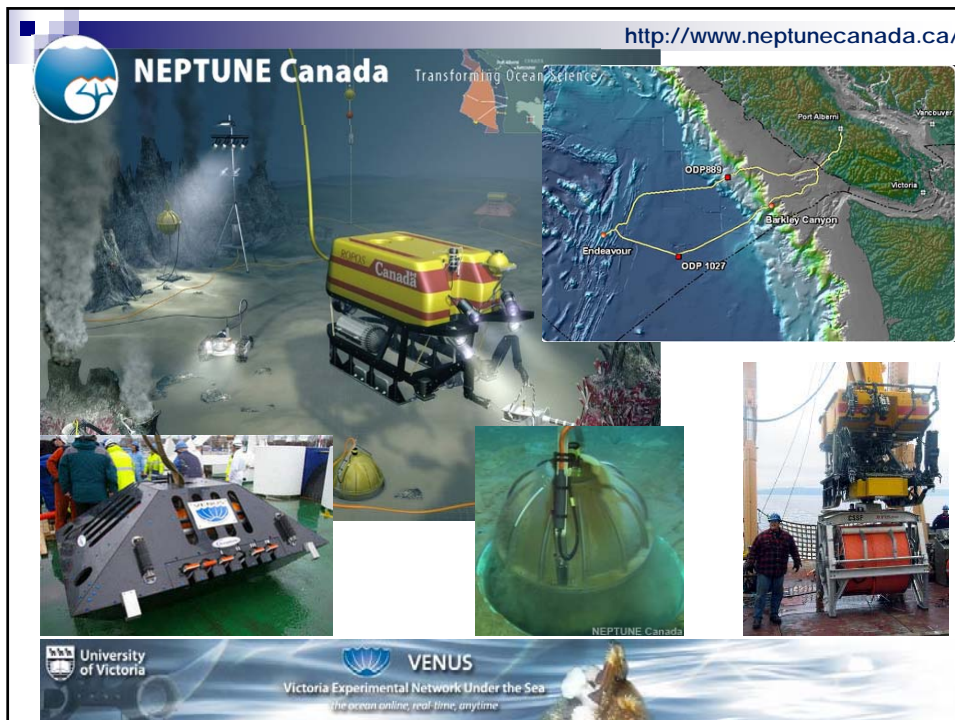


交換・拡張



https://nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=505222

The OOI is a large scale ocean observing system constructed and deployed under NSF sponsorship and oversight as a Major Research Equipment and Facilities Construction (MREFC) Project. The system includes an integrated network of cabled and uncabled arrays of instrumentation, distributed in various coastal and global ocean locations, to facilitate Ocean Science research. Since construction was completed in 2016, the OOI has been in operational status at an approximate funding level of **\$55,000,000 (\$55M) per year**.



<http://www.oceannetworks.ca/federal-funding-secures-onc-world-leader-ocean-science-and-technology>

(Jan 9, 2017)

Federal funding secures ONC as a world leader in ocean science and technology Community observatories along the BC coast, earthquake early warning sensors in the deep sea, and the first 24/7 subsea instrument platform in the Arctic—these recent accomplishments are among many that have made the University of Victoria’s Ocean Networks Canada (ONC) the world-leading ocean science facility it is today.

Now, a five-year, \$46.6 million investment from the Canadian government—through the Canada Foundation for Innovation (CFI)—will ensure that ONC continues to lead the world in ocean observatory science and technology.

Funders

We gratefully acknowledge the tremendous support provided by our funders. Without their involvement, Ocean Networks Canada could not continue providing vital scientific data and services for our communities, governments and industry.

- B.C. Knowledge Development Fund
- British Columbia Ministry of Advanced Education and Labour Market Development
- Canada Foundation for Innovation (CFI)
- Canada’s Advanced Research and Innovation Network (CANARIE)
- Emergency Management BC
- IBM Canada
- Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC)
- Networks of Centres of Excellence (NCE)
- Transport Canada
- University of Victoria (UVic)
- Western Economic Diversification



海底ケーブルネットワークの長期運用に向けて

- 故障をしないシステムはない。
大規模システムの運用には保全という考え方が必要。

→壊れたものは修理する。寿命に対して正しい対策を行う。新技術の導入を図る。

→安定な運用に予算はつかない。ケーブルプラットフォームを活用した、魅力的かつ斬新な観測計画の継続的な立案と実装が、長期的な運用を支える基礎となる。

→研究開発コミュニティの理解と強化が不可欠