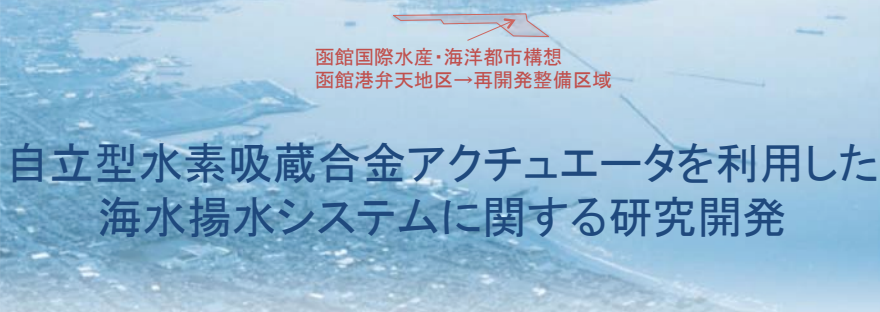




Institute of National Colleges of Technology,

Hakodate National College of Technology



函館国際水産・海洋都市構想
函館港弁天地区→再開発整備区域

自立型水素吸蔵合金アクチュエータを利用した 海水揚水システムに関する研究開発

研究代表者
函館工業高等専門学校
研究分担者
函館工業高等専門学校
函館工業高等専門学校

環境都市工学科 宮武 誠
電気電子工学科 湊 賢一
機械工学科 本村真治

問い合わせ先 TEL:0138-59-6484
E-mail:miyatake@hakodate-ct.ac.jp

研究背景

★函館国際水産・海洋都市構想に際して

平成16年5月・・・「国際水産・海洋総合研究センター
整備に向けた提案書Ⅰ」

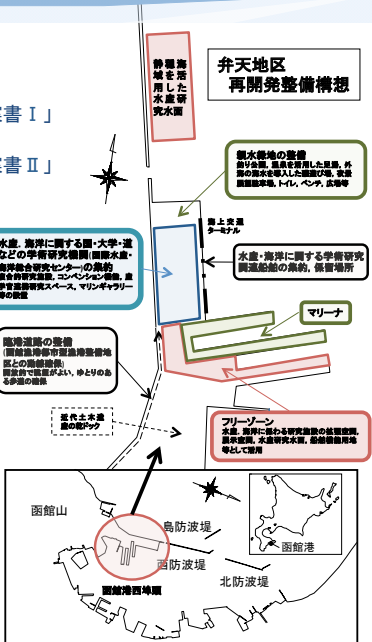
平成18年8月・・・「国際水産・海洋総合研究センター
整備に向けた提案書Ⅱ」

★函館港弁天地区の再開発計画

「国際水産・海洋総合研究センター」



水産・海洋に関する国・大学・産
などの学術研究機関、国際水産・
海洋総合研究センターの機能的
集合体である。コンベンション施設、産
学官連携研究スペース、マリナヴィレッジ
等の設置



弁天地区
再開発整備構想

海水揚水の設備
貯け金庫、電気を消費した設備、外
部の海水を導入した設備、水産
研究船、水産研究水産、船舶整備用地
等として利用

水産・海洋に関する学術研究
調査船の拠点、保管場所

マリナー

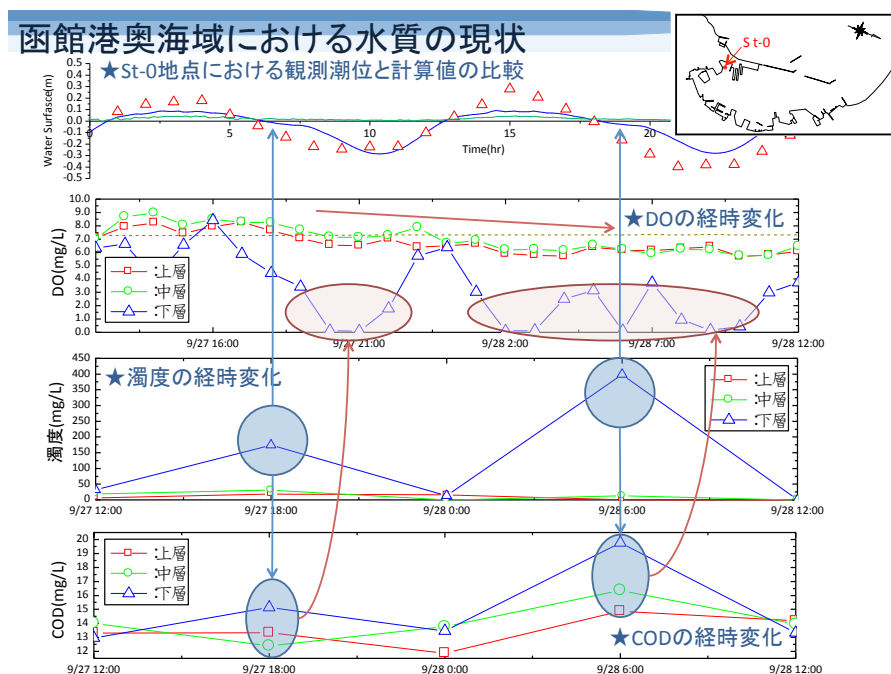
フリーゾーン
水産・海洋に関する研究施設の設置、
調査船、水産研究水産、船舶整備用地
等として利用

函館山 函館港 弁天地区
西防波堤 北防波堤 函館港西埠頭

「マリーナレジャー施設」

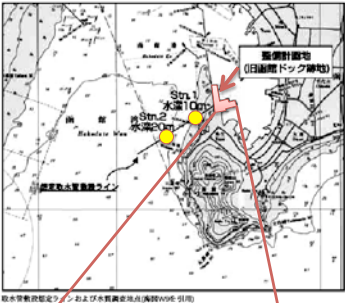
「大型蓄養・研究水面」

出典：函館市「国際水産・海洋総合研究センターの整備に向けた提案書」とⅡを一部改良



研究背景

★外海水の取水想定位置



★A-MHA(Autonomous - Metal Hydride Actuator ; 自律駆動型水素吸蔵合金アクチュエータ)

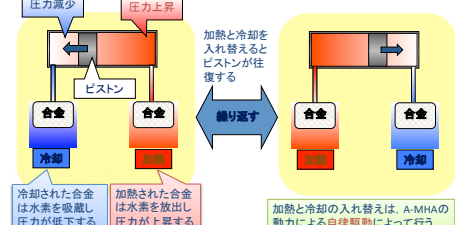
水素と反応して金属水素化物を形成する合金。合金を冷却すると水素を吸蔵、加熱すると水素を放出し、その量は合金体積の約1000倍。



$$M + H \xrightleftharpoons[\text{放出}]{\text{吸蔵}} MH + \Delta H$$

水素吸蔵合金 (LaNi₅合金) 水素 金属水素化物 反応熱 (熱)

機械エネルギー 熱エネルギー



圧力減少 圧力上昇

合金 合金

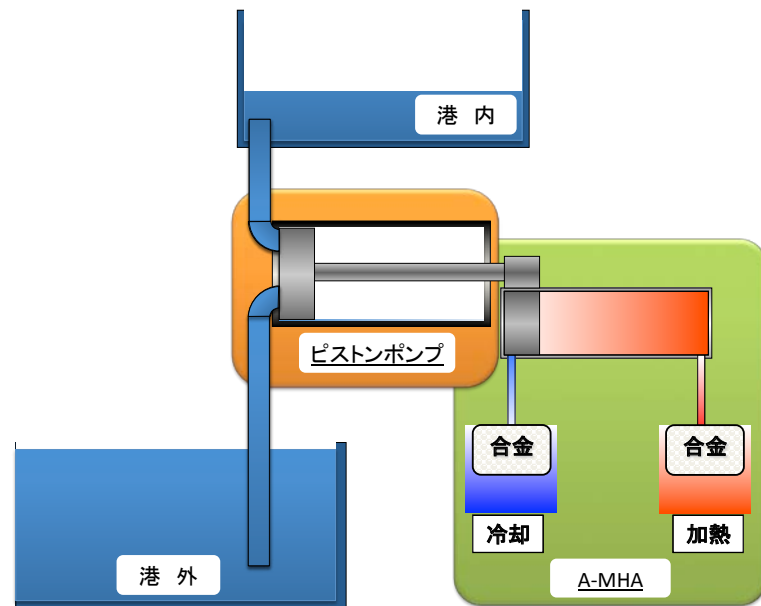
冷却 加熱

加熱と冷却を入れ替えるとピストンが往復する

加熱と冷却の入れ替えは、A-MHAの動力による自律駆動によって行う。

出典：函館市「国際水産・海洋総合研究センターの整備に向けた提案書Ⅱ」を一部改良

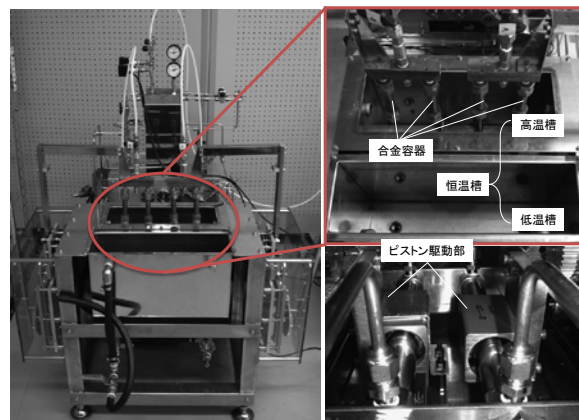
A-MHAによる海水交換装置の概念図



研究目的

- (1) **合金組成の検討**: A-MHA模型装置による室内実験及び合金の熱伝導に関する数値解析により吸放出量及び耐久性に優れた解明する。
- (2) **ピストンポンプの送水能力**: 現地スケールでのA-MHA出力及び間欠型ピストンポンプ模型による送水量との関係から、実海域で送水可能な海水量を推定する計算図表を完成させる。
- (3) **A-MHAの最適導入位置**: 構築した準3次元多層流動モデルによる粒子追跡解析に推定した海水送水量を反映させ、函館港内の海水交換率に優れたA-MHAの導入位置を解明する。
- (4) **制御・監視機能を備えたフィールドサーバの構築**: 港内流況やA-MHAに関する各種データの収集・Webによる遠隔監視機能を有する双方向通信型フィールドサーバにより完全自律駆動可能なA-MHAの監視・制御ベースシステムを構築する。
- (5) **現地実証実験**: これまでに提案した予測・設計手法との比較を通じ、その有用性や妥当性を立証する。

水素吸蔵合金組成の検討

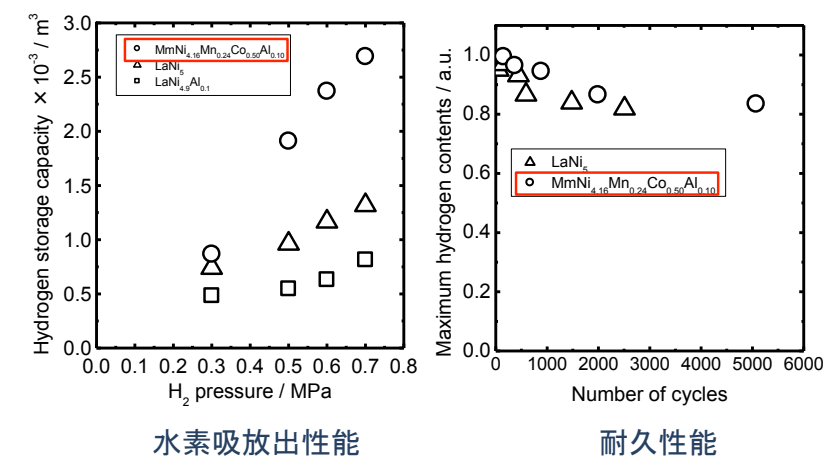


★水素吸蔵合金の吸放出条件

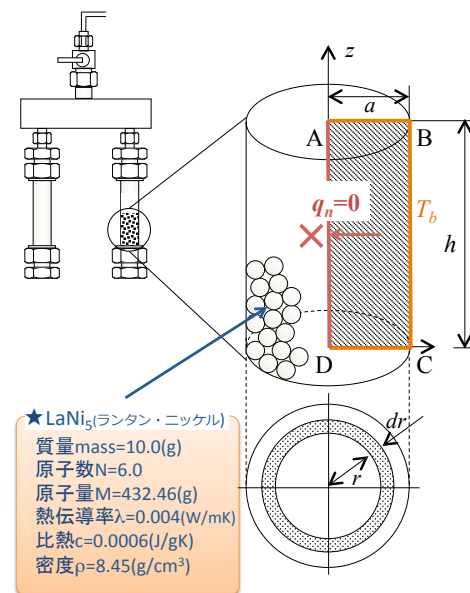
初期平衡水素圧 $P=0.3, 0.5, 0.6, 0.7$ (MPa)
 合金質量(容器4本合計) $M=40.0$ (g)
 初期(活性化処理)温度 $T_{pi}=20^{\circ}\text{C}$

低温(吸蔵) $T_{pi}=15^{\circ}\text{C}$
 高温(放出) $T_{pi}=80^{\circ}\text{C}$
 測定時間 $T=3\text{min}$

水素吸蔵合金の吸放出及び耐久性能



合金の水素吸放出量に関する数値解析



★合金の熱伝導方程式

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

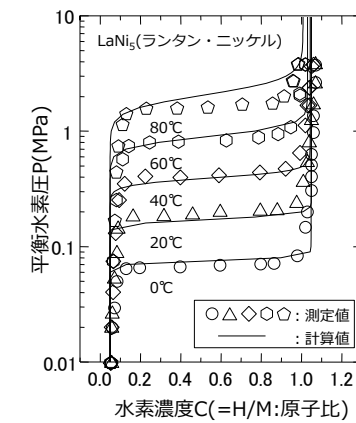
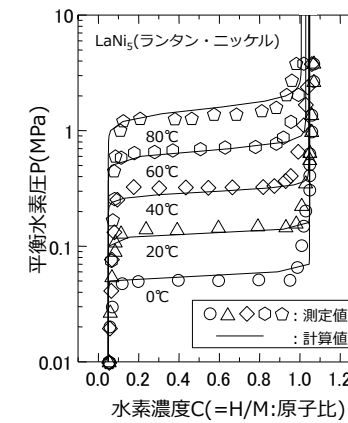
T :合金温度(K)
 λ :合金の熱伝導率(W/mK)
 c :合金の比熱(J/gK)
 ρ :合金の密度(g/cm³)

★PCT曲線の定式化

$$C = C_r + (C_s - C_r) \left\{ \frac{1}{1 + (\alpha|P|)^{-n}} \right\}^{(1+1/n)}$$

C_r :残留水素濃度
 C_s :飽和水素濃度
 α, n :定数
 C :水素濃度
 P :平衡水素圧(MPa)

PCT曲線を用いた水素吸放出量の算出



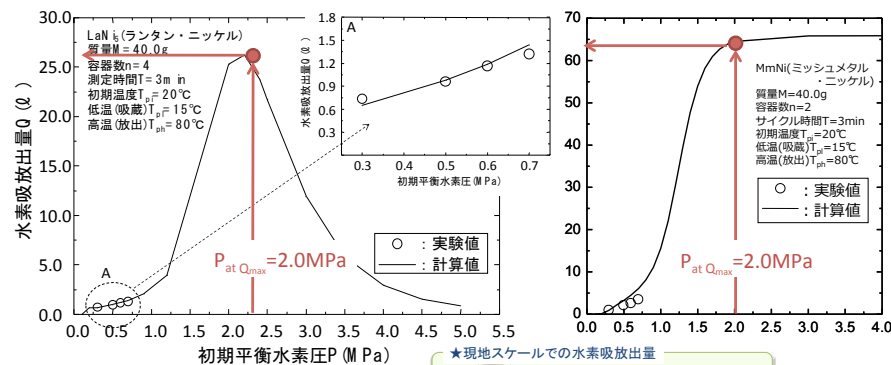
★合金1gあたりの水素吸放出量 $q(\ell/g)$

$$q = 11.2 \cdot \Delta C \cdot \frac{N}{M}$$

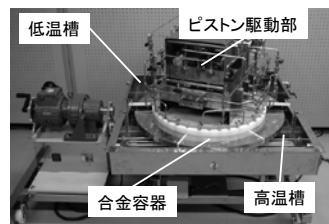
★合金全体からの水素吸放出量 $Q(\ell)$

$$Q = 2\pi\rho \int_0^h \int_0^a q \cdot r \cdot dr \cdot dz$$

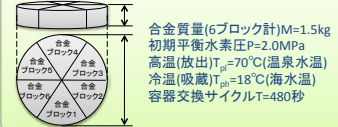
数値シミュレーションによる水素吸放出性能



★函館港に設置するA-MHA実機



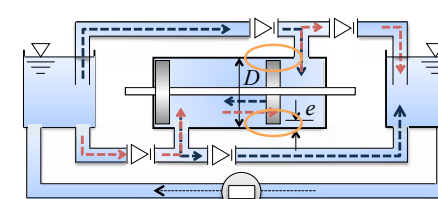
★現地スケールでの水素吸放出量



A-MHA実機の合金容器1ブロックから吸放出される水素流量

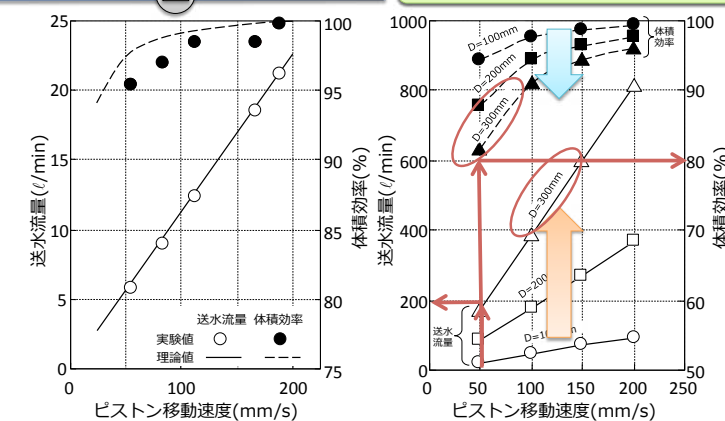
最大0.0036N/s
(標準状態:0°C, 101.3KPa換算)

間欠型ピストンポンプの送水能力に関する検討

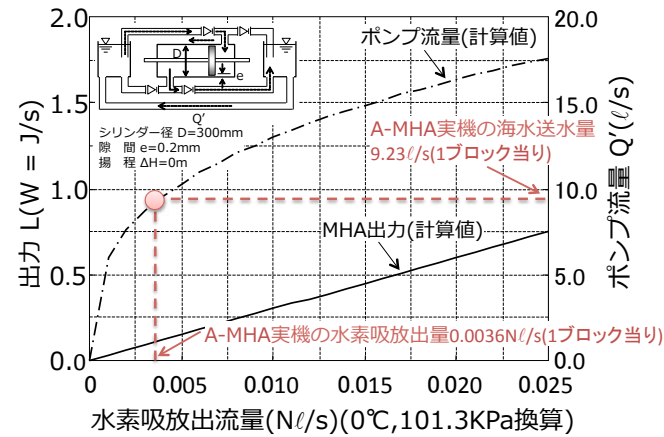


★ピストンポンプ模型の送水能力実験

ピストンはエアシリンダーにより駆動
ピストン移動速度v=54,82,110,167,188mm/s
シリンダー径D=50mm
隙間e=0.2mm
揚程ΔH=0m



間欠型ピストンポンプによる海水送水量の推定(D=300mm)



6ブロックを有するA-MHA実機システム全体での送水可能な海水量

最大199m³/hr程度

揚程及び配管系で生じる全ての水頭損失 } などは考慮していない。
動力伝達系の機械損失

準3次元多層水質環境モデルの概要

準3次元多層流動モデル

★運動量方程式

x軸方向;

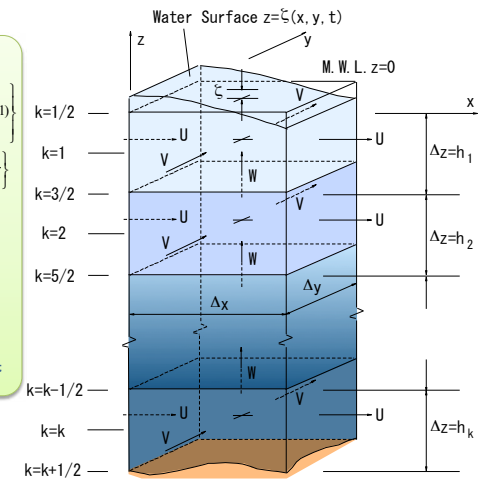
$$\frac{\partial}{\partial t} M_k + \frac{\partial}{\partial x} (M_k u_k) + \frac{\partial}{\partial y} (M_k v_k) + \left\{ \begin{array}{l} -(uv)_k \\ (uv)_{k-1} - (uv)_k \end{array} \right\} \quad (k=1) \\ (k=2, 3, \dots, K-1) \\ (k=K) \\ = f_k N_k + \frac{h_k}{\rho_k} \left\{ [\bar{P}_x]_k - \frac{1}{2} g h_k \frac{\partial \rho_k}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ N_k \frac{\partial M_k}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ N_k \frac{\partial M_k}{\partial y} \right\} \\ + \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{\rho} \tau_x^k - \frac{1}{\rho} \tau_x^{k-1} \\ \frac{1}{\rho} \tau_x^{k-1, k} - \frac{1}{\rho} \tau_x^{k, k+1} \end{array} \right\} \quad (k=1) \\ (k=2, 3, \dots, K-1) \\ \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{\rho} \tau_x^{K-1, K} - \frac{1}{\rho} \tau_x^b \end{array} \right\} \quad (k=K)$$

y軸方向;

上式を $M \rightarrow N, (uv) \rightarrow (vw), \tau_x \rightarrow \tau_y$ に変換

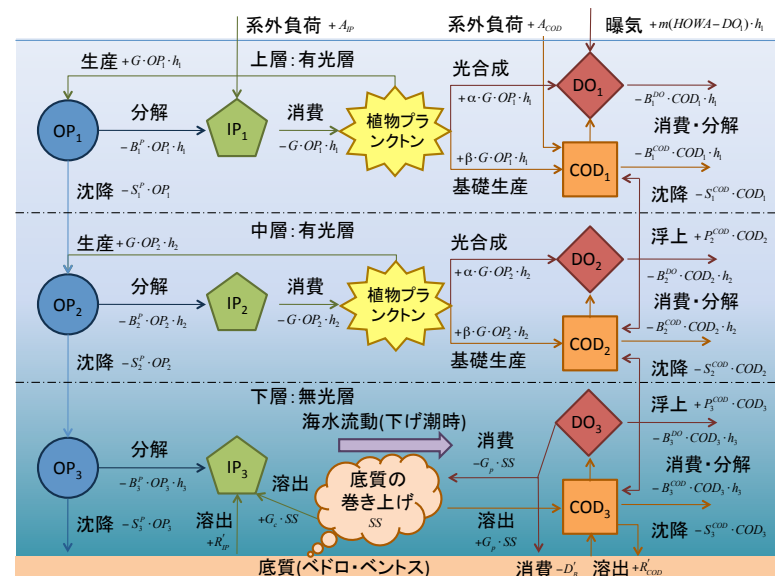
★連続の式

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \zeta}{\partial t} = w_1 - \frac{\partial M_1}{\partial x} - \frac{\partial N_1}{\partial y} \quad (k=1) \\ -w_{k-1} = w_k - \frac{\partial M_k}{\partial x} - \frac{\partial N_k}{\partial y} \quad (k=2, 3, \dots, K-1) \\ -w_K = 0 \quad (k=K) \end{array} \right.$$



h_k : k層の厚さ
 M_k, N_k : x, y軸方向の流量フラックス
 ρ_k : k層の流体密度
 $\tau_x^k, \tau_x^{k-1, k}, \tau_x^b$: 風による水面, k~k-1層間, 海底のせん断力

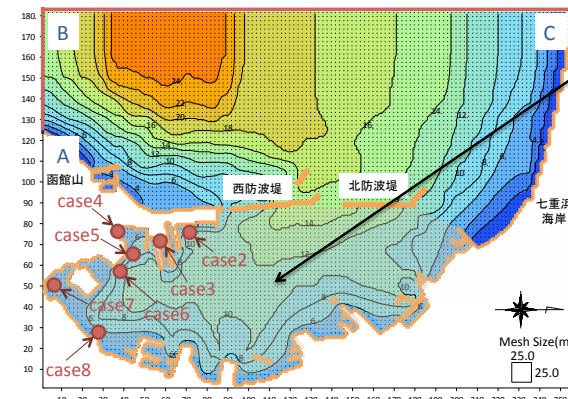
水質環境モデルの構築



A-MHAの最適導入位置に関する検討

★オイラー・ラグランジュ法による粒子追跡解析

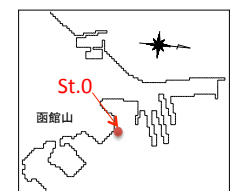
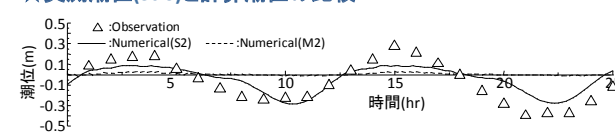
港内海域の全層に配置したトレーサ粒子計=11567個



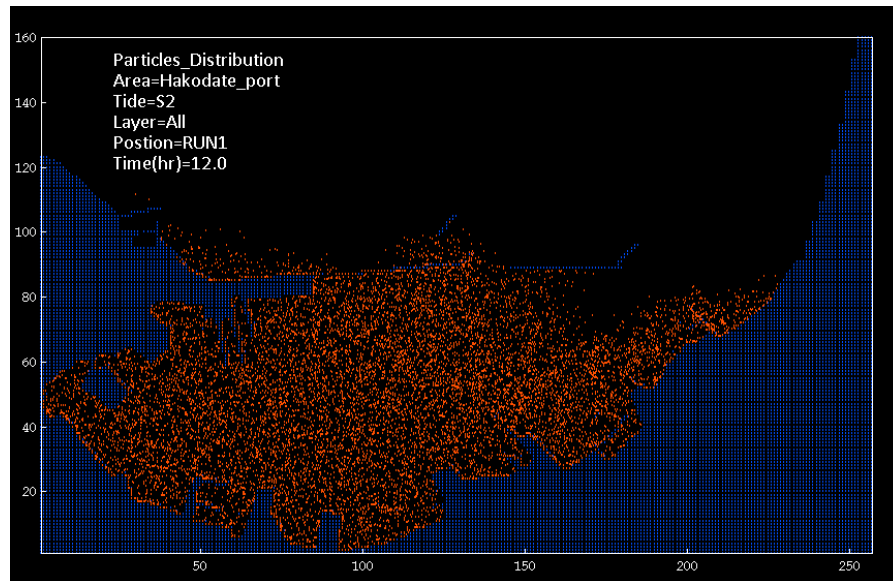
★A-MHAによる外海水導入位置の検討ケース

ケース	水深(m)	A-MHA	流量(m ³ /hr)
case1	現況	なし	-
case2	6.19	あり	199.0
case3	5.00	あり	199.0
case4	5.00	あり	199.0
case5	5.50	あり	199.0
case6	5.00	あり	199.0
case7	5.00	あり	199.0
case8	5.00	あり	199.0

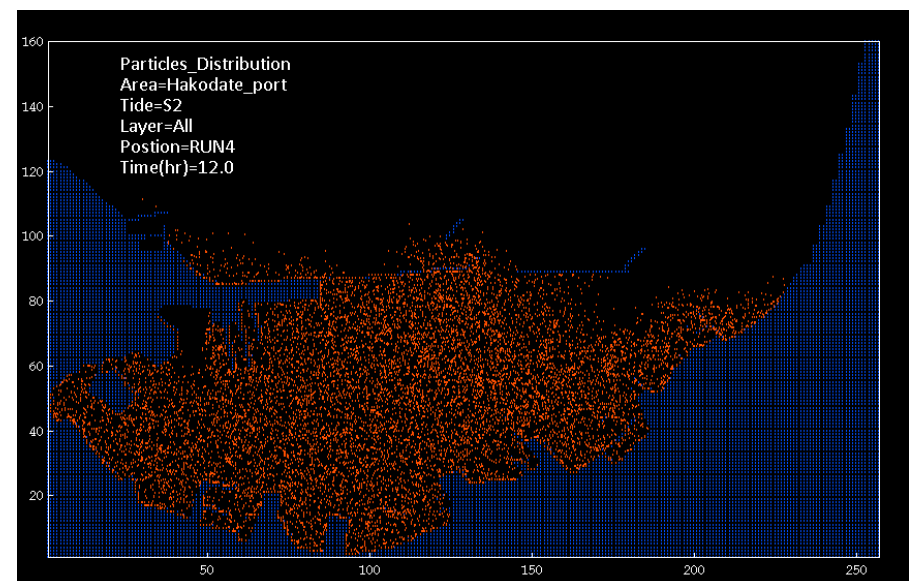
★実測潮位(St.0)と計算潮位の比較



現況におけるトレーサ粒子(S_2 成分)

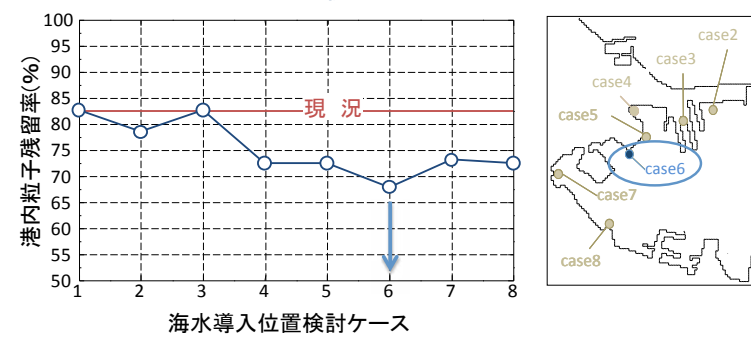


A-MHA適用後のトレーサ粒子(S_2 成分+Case4)



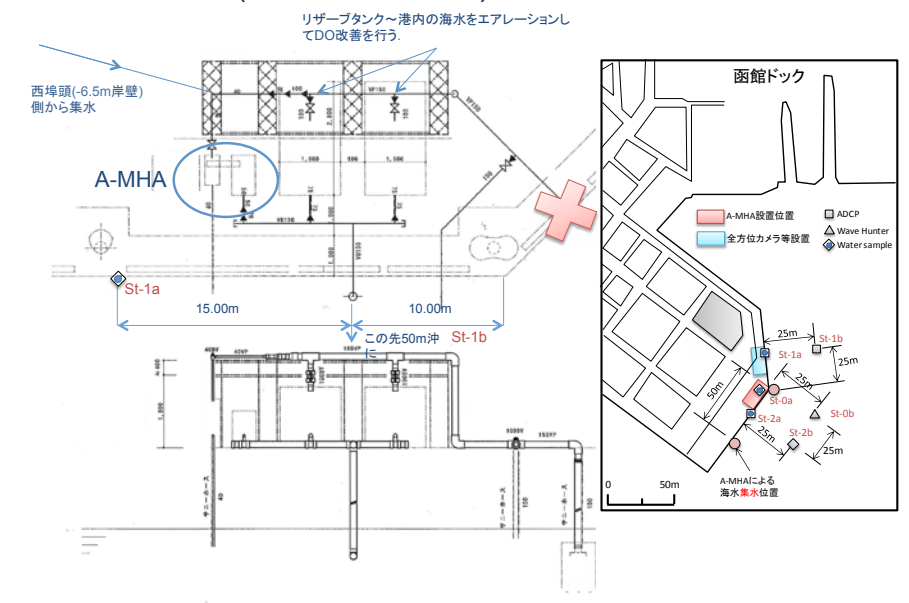
A-MHA適用後における海水交換率の評価

★港内粒子残留率による海水交換率の評価

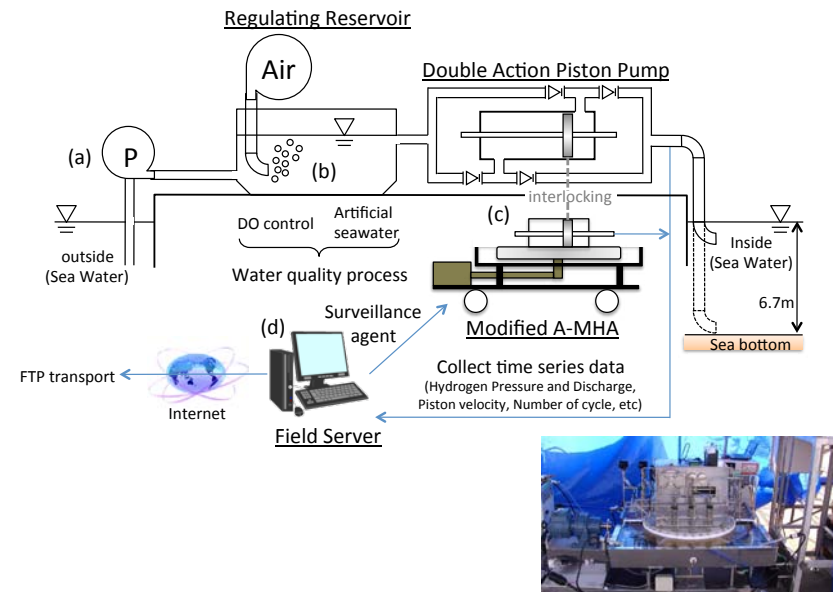


$$\text{港内粒子残留率} = \frac{\text{港内に残留したトレーサ粒子の総数}}{\text{港内に配置したトレーサ粒子の総数}}$$

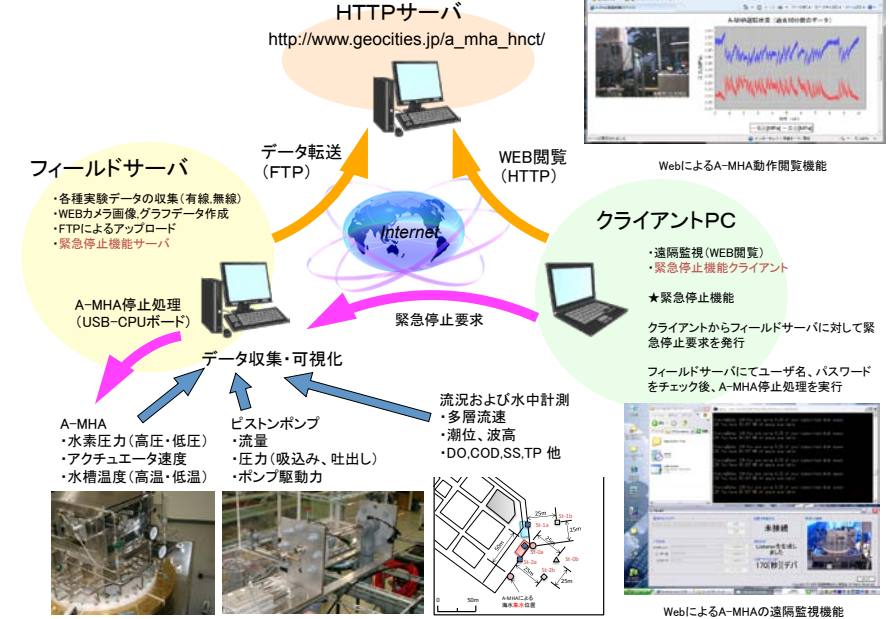
現地実証実験(2010/10/02~03)



A-MHAを用いた海水交換装置の概要図

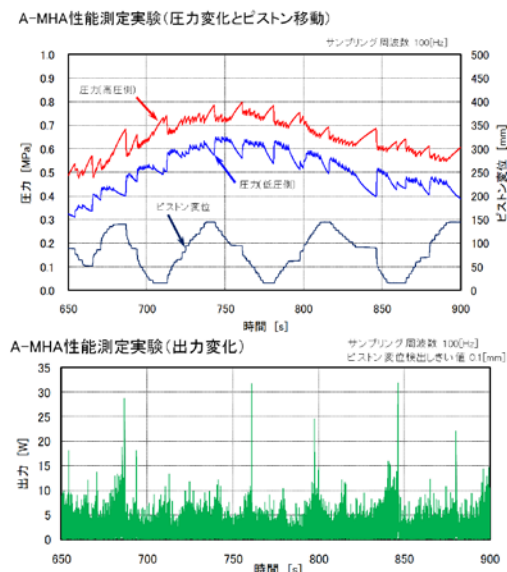


A-MHAの制御・管理ベースシステム



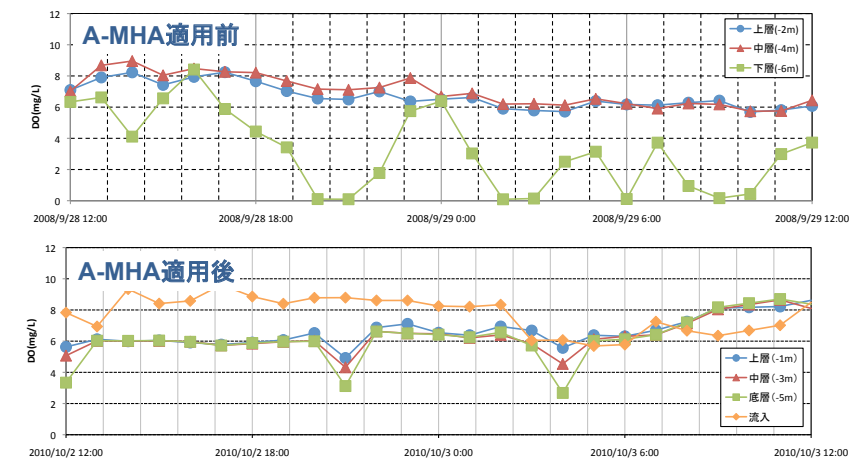
観測結果(1)-A-MHAによる性能評価

★A-MHAの圧力変化とピストン移動量、出力変化



観測結果(2)-港内港奥海域の水質改善効果

★港内の溶存酸素量(DO)



結 論

(1)100℃未満の低温度差条件下において, LaNi_5 合金よりも安価なMmLa合金の有用性を確認するとともに, 合金の吸放出性能を最大限に発揮させるためには, 2 .0MPa程度の初期平衡水素圧を与える必要がある.

(2) A-MHA実機にピストンとシリンダー間に隙間を設けた間欠型ピストンポンプを直接連結させた場合, A-MHA実機による実海域での海水送水量は最大で199m³/hr程度となる.

(3) トレーサ粒子による港内粒子残留率によって, A-MHA実機による海水導入位置を検討した結果, 港内の海水交換率に優れた函館港西埠頭前面海域に設置するのが最適である.

(4)現地実証実験を通じ, これまで提案した予測・設計法の有用性及び妥当性を立証するとともに, A-MHAは双方向通信型フィールドサーバを実装した遠隔監視機能及び揚水出力制御により完全自律駆動を可能とした揚水システムを実現させた.