

# 並進動揺型波力発電に 関する研究

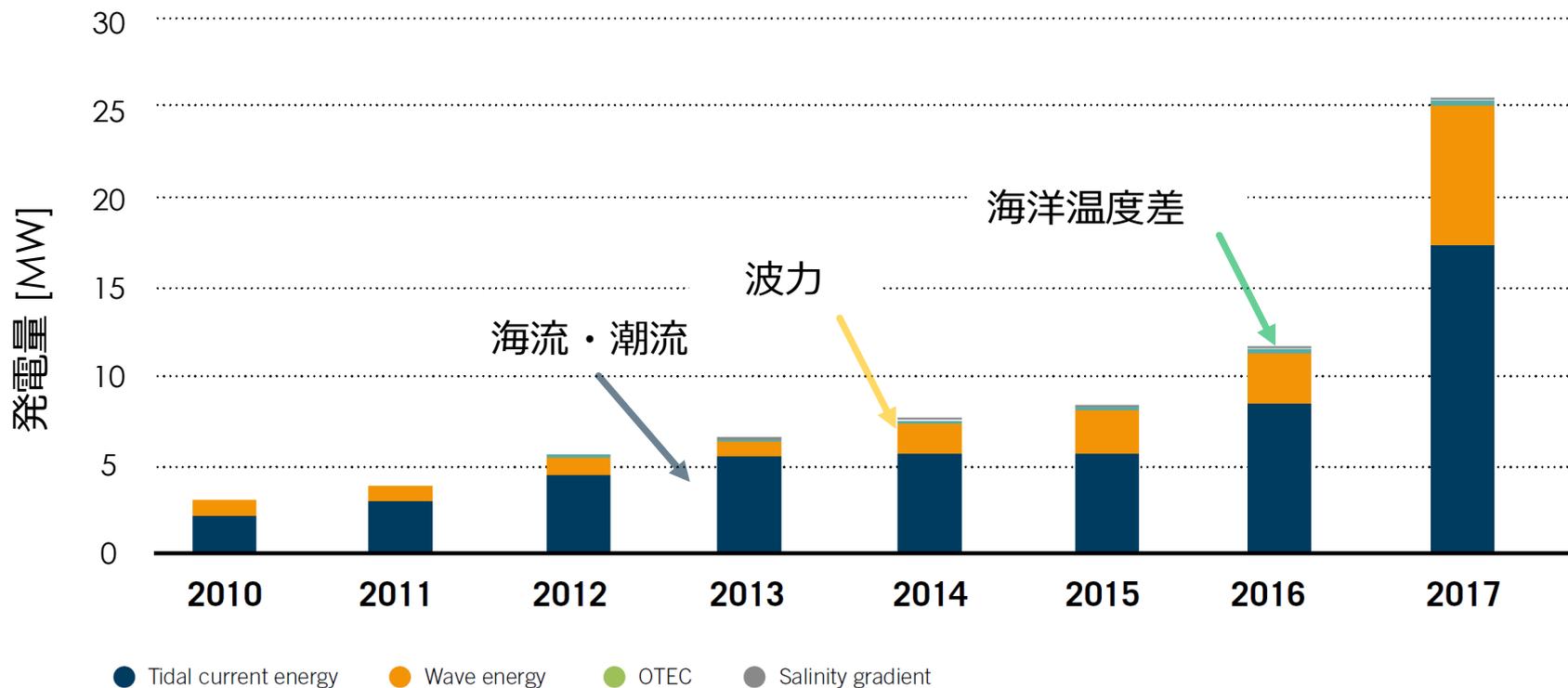
海洋先端技術系

藤原敏文、谷口友基、梅田隼、井上俊司

# 発表内容

- 海洋再生エネルギー利用の進展
- 過去の再生可能エネルギー関連事業の取組方針  
波力発電装置検討事例
- NEDO研究開発事業(リニア式発電)での取組  
制御法、模型試験・結果、分析等
- まとめ

# 海洋再生エネルギー利用の進展

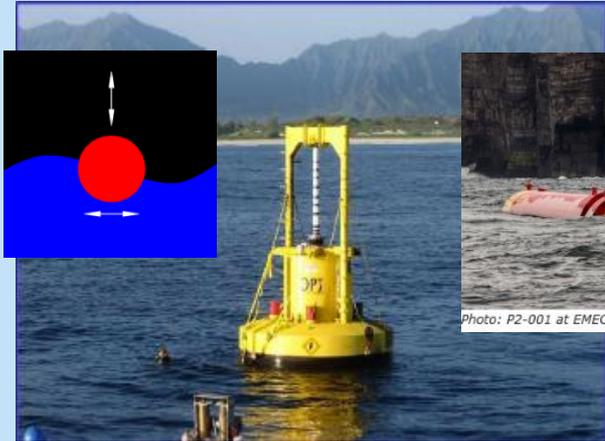


Cumulated ocean energy capacity by energy source in the period 2010 – 2017 (tidal barrage not included)  
Source: OES WebGis Database - Fraunhofer IEE

世界での海洋エネルギー利用の伸び  
OES, Annual report, 2017

# 各種波力発電装置・発電モード例

並進動揺型

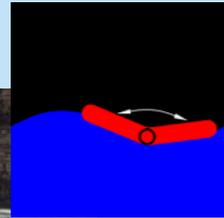


PowerBuoy (Ref. Opt HP)

屈曲動揺型

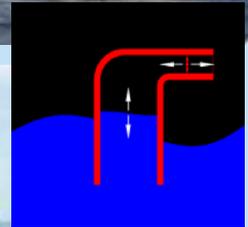


Pelamis  
(Ref. Pelamis wave power HP)



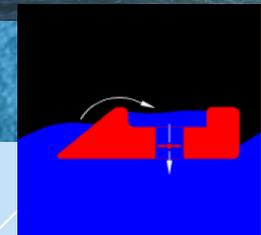
振動水柱揺型

マイティーホエール  
(Ref. JAMSTEC HP)



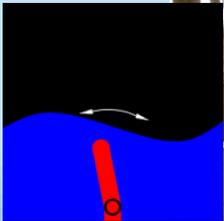
海明 (Ref. 同上)

越波型



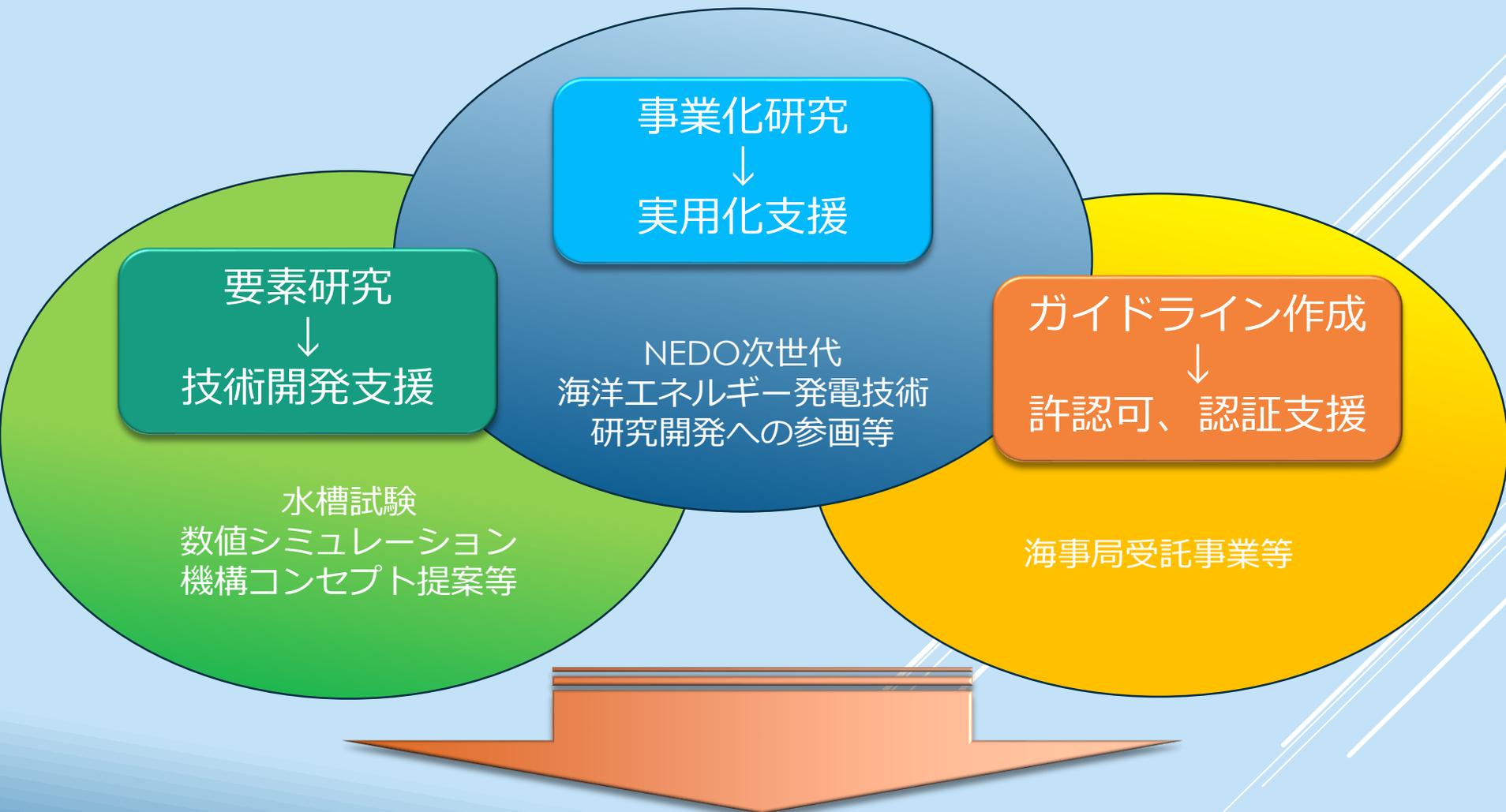
Wave Dragon (Ref. Wave dragon HP)

屈曲動揺型



Oyster (Ref. Aquamarine power HP)

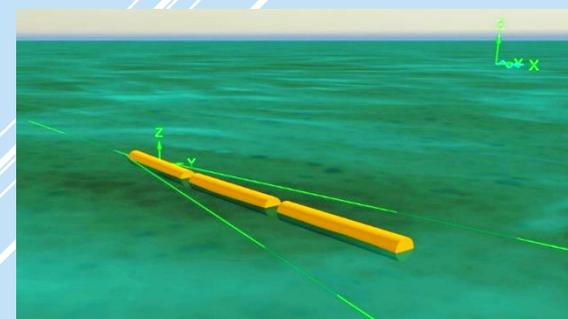
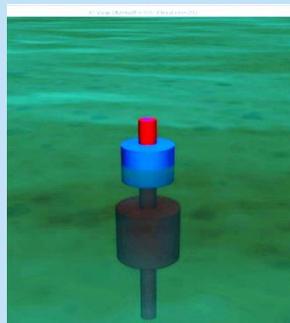
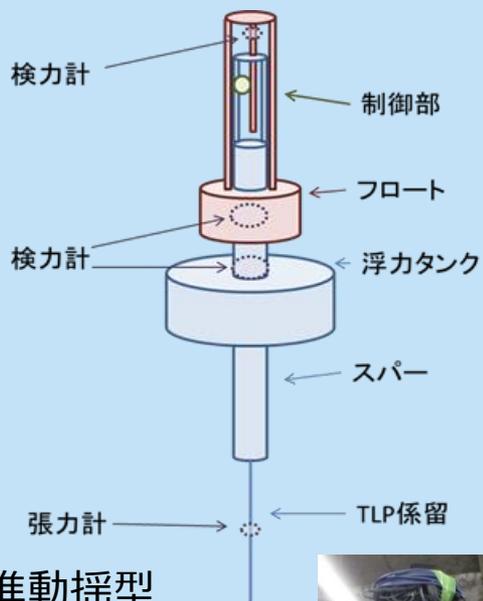
# 過去の再生可能エネルギー関連事業の取組方針



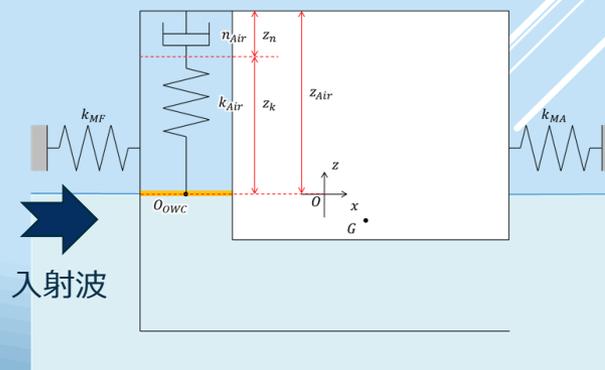
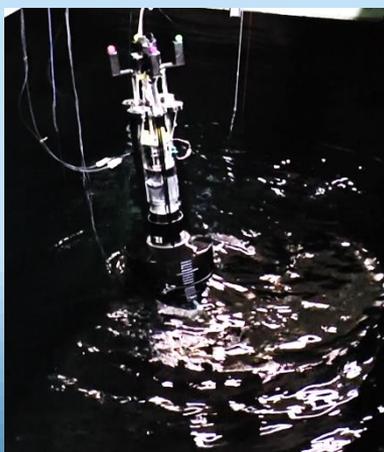
実現化の一助として

# 波力発電装置検討事例

屈曲動揺型



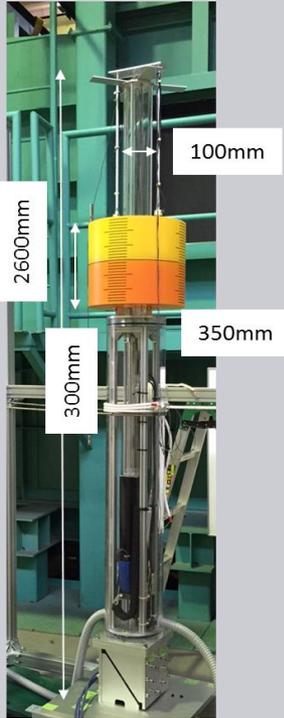
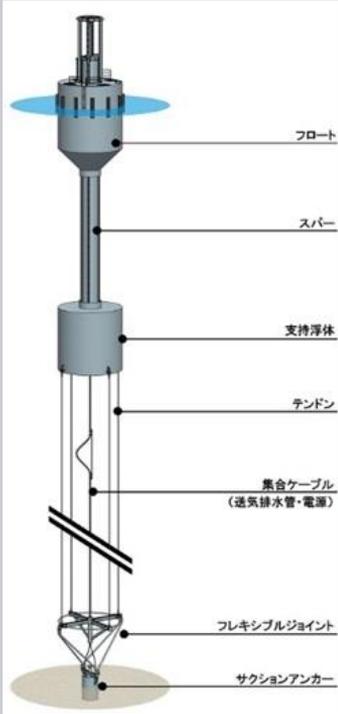
並進動揺型



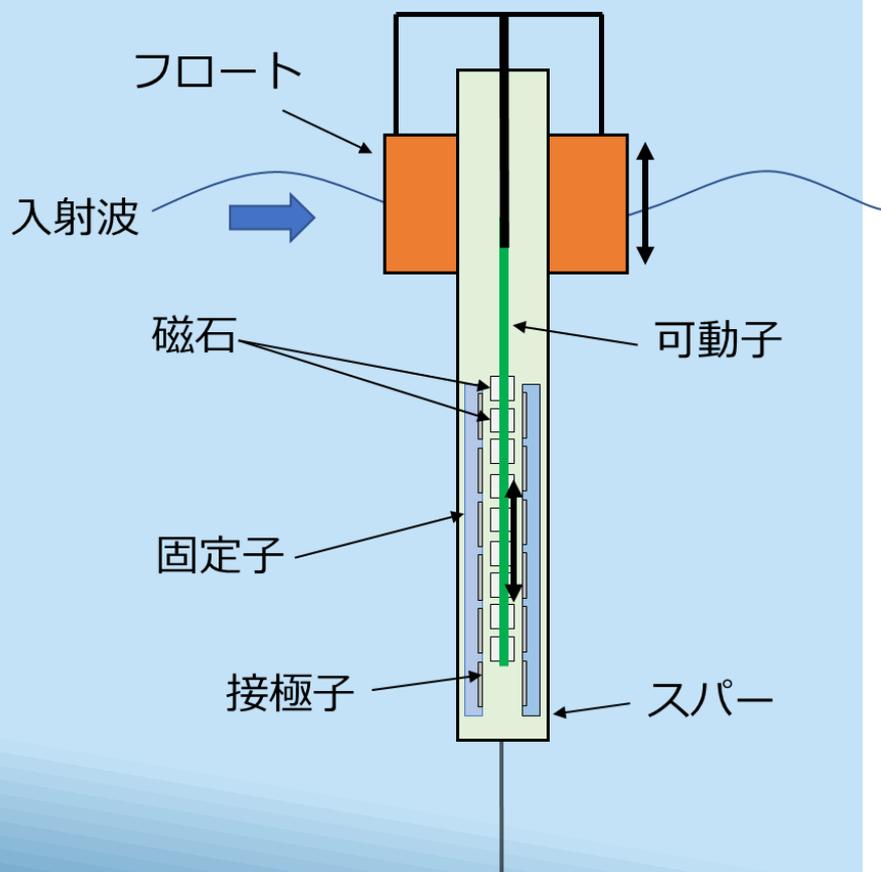
振動水柱型

国土交通省海事局、H26年「波力等海洋エネルギー発電施設の安全対策のための調査研究」、H27年「潮流・海流等海洋エネルギー発電施設の安全対策のための調査研究」受託事業にて実施

# NEDO技術研究開発事業(リニア式発電)での取組

年度	2015	2016-2017	2017	将来構想
概要	1/20模型 制御基礎試験	1/7模型 制御確認試験	小型模型 荒天下安全性評価	実証試験 (未着手)
波高	0.1m(実機2m相当)	0.21m(実機1.5m相当)	最大0.25 m(実機5m相当)	制限なし
装置	フロート外径 35cm 	フロート外径 1m  	フロート外径 10cmと5cm  	フロート外径 7m 
目的	同調制御理論の基礎特性を検証	1. MPC制御理論の実装及び検証 2. アレイMPC制御理論の実装及び検証	1. 係留安全性評価 2. 各種稼働状態での全体挙動の把握	実スケールのプロトタイプについて年間発電性能と設計健全性を検証
備考	制御手法検証目的を重視し、着底式装置で試験を実施			

# 発電装置浮体力学・ 発電評価



$$M_f \ddot{z} = F_R + F_E + F_S + F_T$$

$$F_T = C_g \dot{z} + K_g z$$

$$P = -F_T \dot{z} \quad : \text{機械入力 (発電量)}$$

$$P_c = R \left( \frac{F_T}{K_T} \right)^2 \quad : \text{巻線損失(銅損)}$$

$$P_n = P - P_c \quad : \text{正味発電量}$$

$M_f$  : フロータ質量

$z$  : 変位

$F_R$  : ラディエーション力

$F_E$  : 波強力

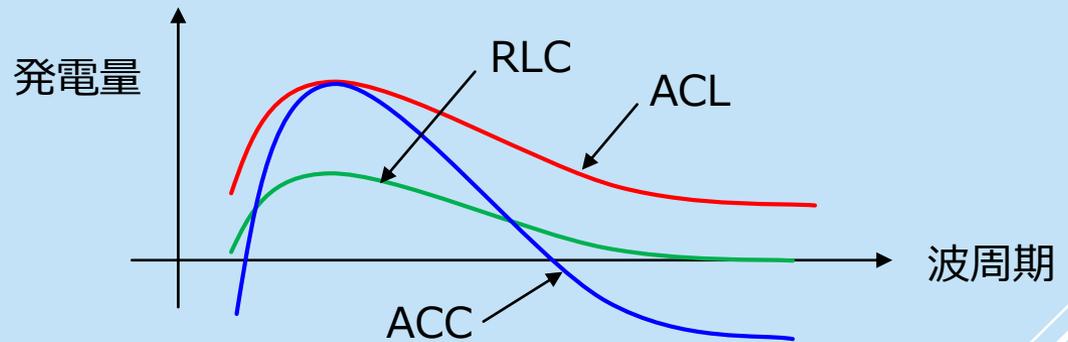
$F_S$  : 復原力

$F_T$  : 発電機制御力

$R$  : 巻線抵抗

$K_T$  : 推力定数

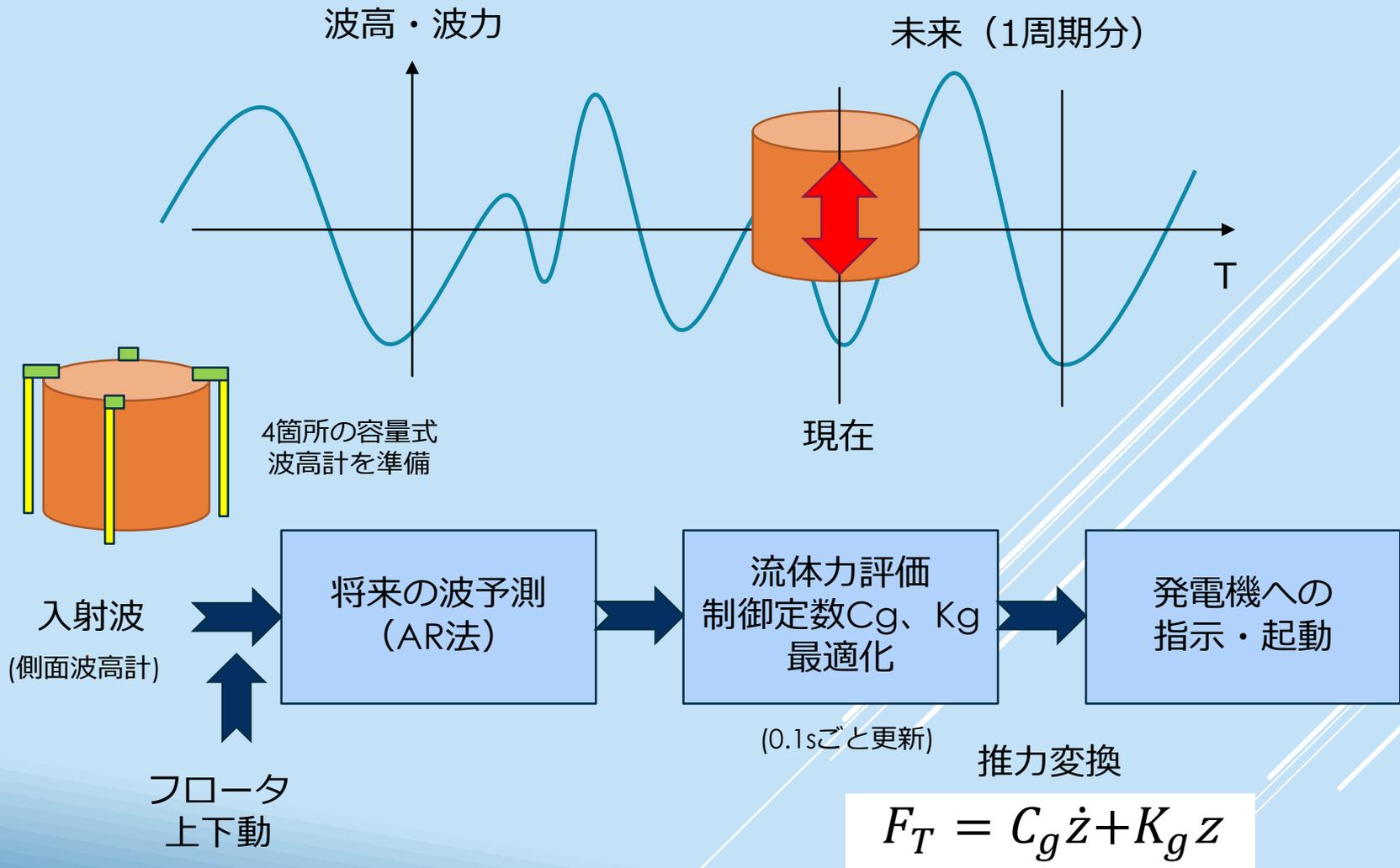
# 制御理論



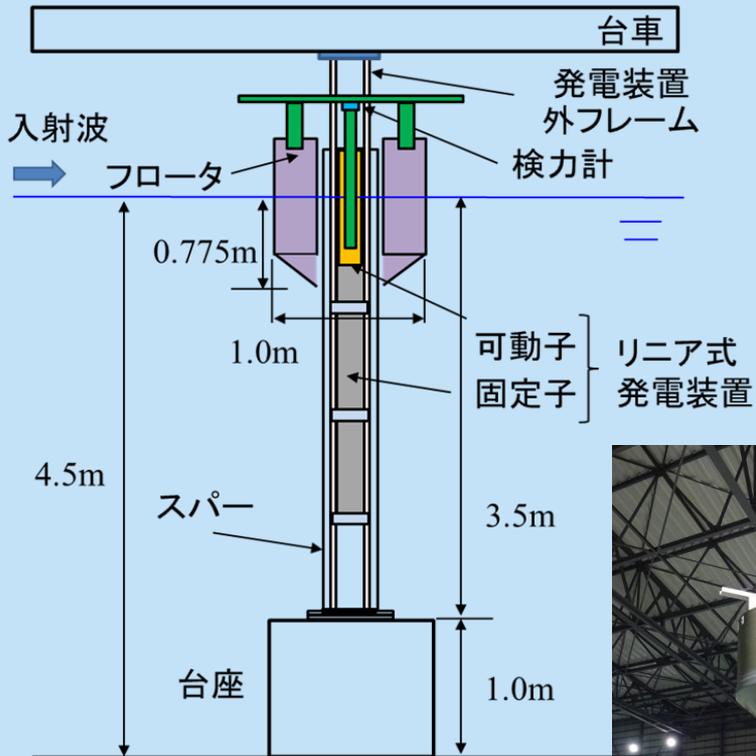
	抵抗制御 RLC (Resistive Load Control)	同調制御 ACC (Approximate Complex-conjugate Control)	出力最大制御 ACL (ACC with considering the Copper Loss)	モデル予測制御 MPC (Model Predicted Control)
方法・特徴	抵抗のみ調整し、発電電力を最大化。復元力の制御無し	復元力を制御し、波との同調現象を強制的に誘起。復元力発生のため発電機内部の電気口スが過大となる傾向	発電機内部の巻線損失（銅損）も考慮し、波との同調も実現（減衰力・復元力調整）しながら出力を最大化する制御法	発電装置に入射する波を予測、予測した波から最大発電量を得るための減衰力・復元力を時々刻々フィード・フォワード制御

備考：モデル予測制御等各名称は、本研究での定義づけ

# 制御方法（波予測とMPC制御）

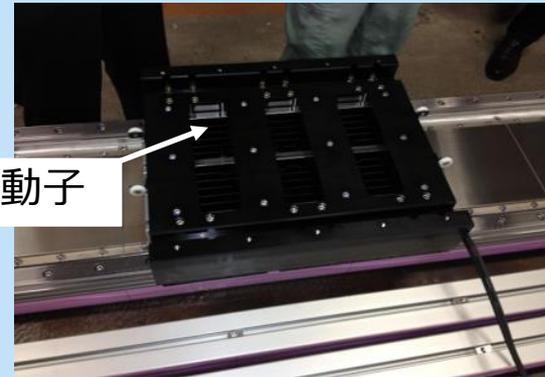
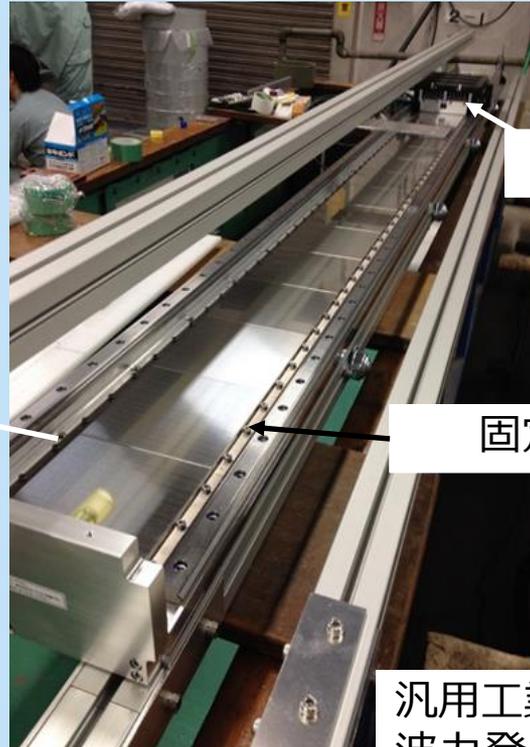


# 試験模型の仕様



	項目	単位	実物 (想定)	模型
フロート	外径	m	7.00	1.00
	内径	m	3.50	0.500
	深さ	m	9.00	1.28
	喫水	m	5.43	0.775
	質量	kg	$119 \times 10^3$	348
	復原係数 (上下方向)	N/m	$448 \times 10^3$	6390
スパー	外径	m	2.80	0.400
	高さ	m	24.5	3.50

# 発電装置(リニア式)



可動子

固定子 (台座)

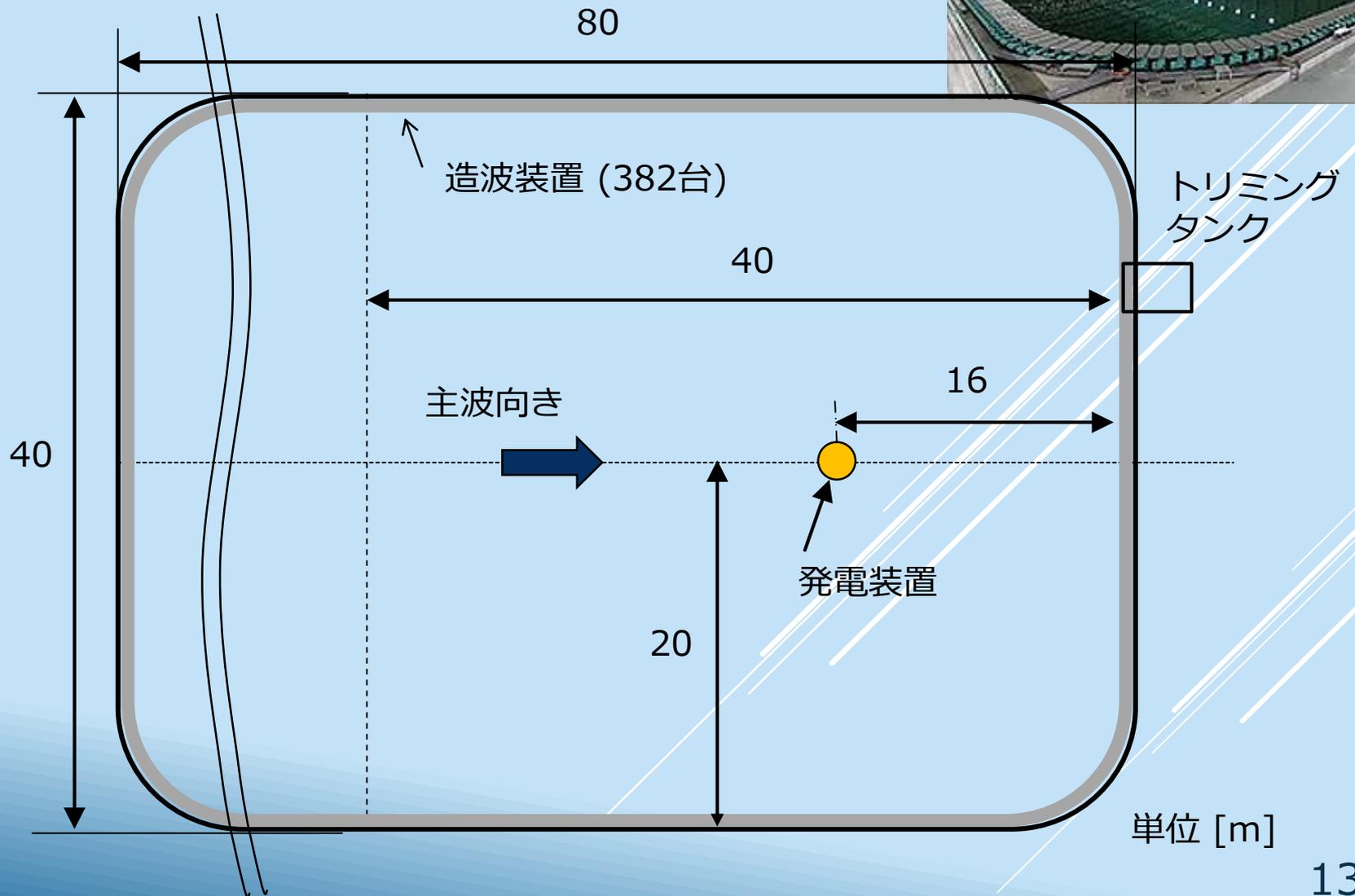


汎用工業品を活用した。  
波力発電に適した専用発電装置が望まれる。

項目	単位	設計仕様	計測値
固定子長	m	3.10	3.10
可動ストローク	m	2.50	0.500
全体質量	kg	144	144
定格推力	kN	1.00	1.14
最大推力	kN	3.07	-

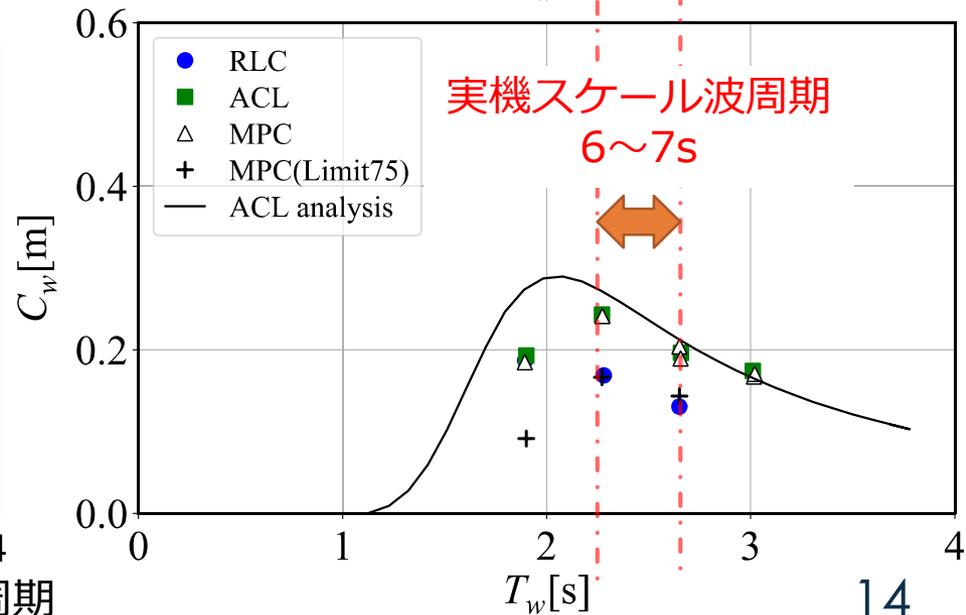
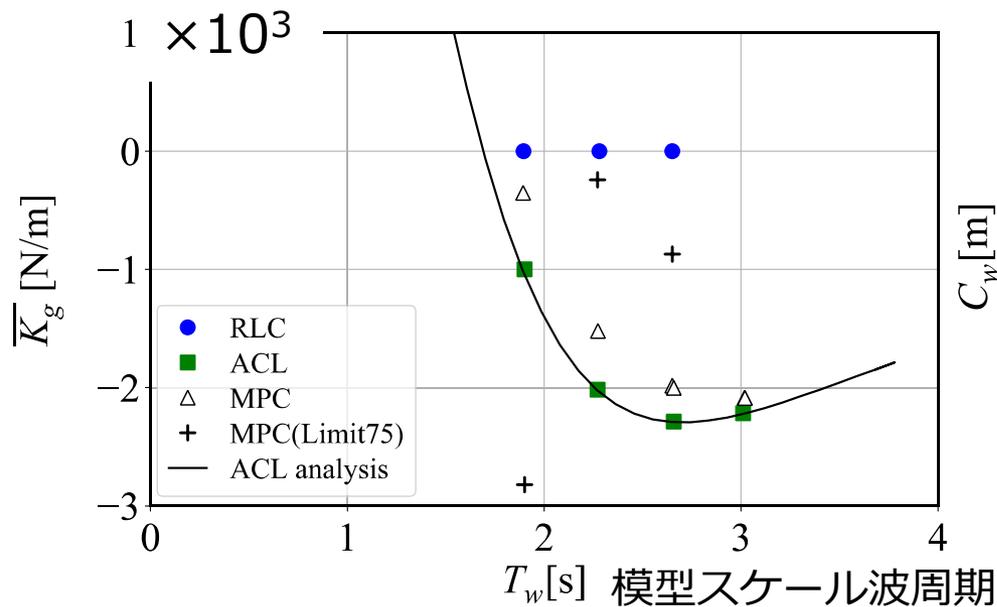
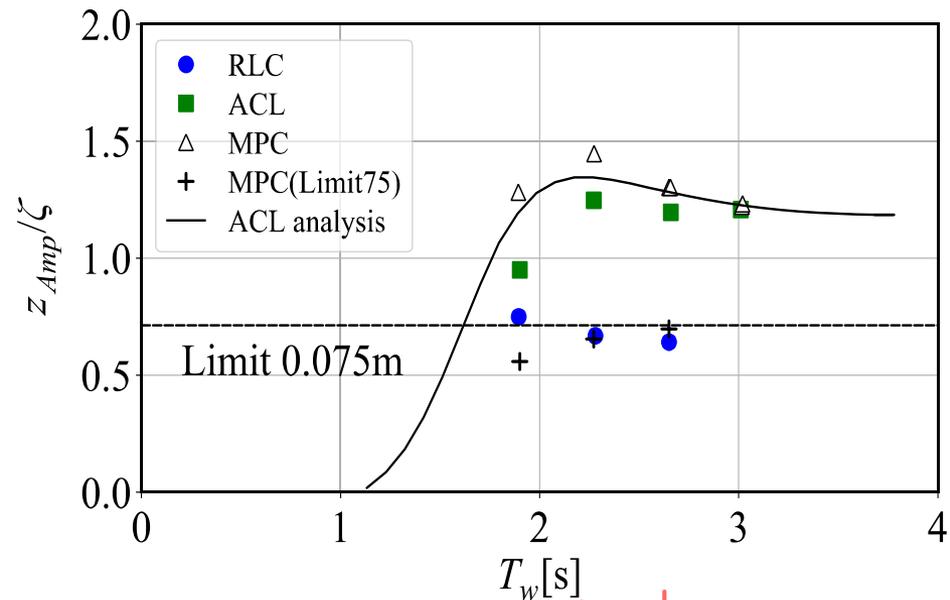
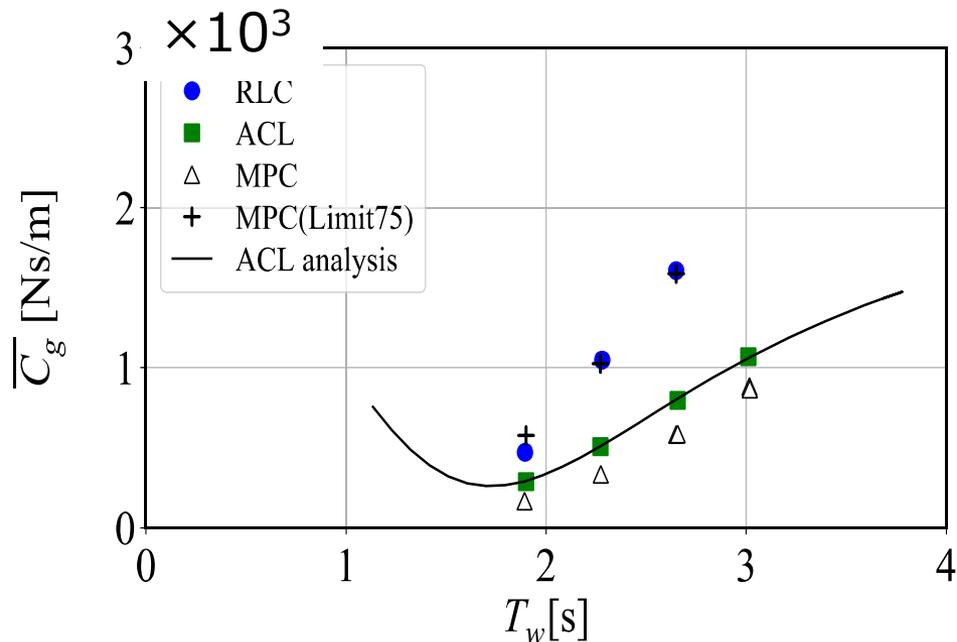
# 水槽での模型配置

実海域再現水槽  
(L80×B40×D4.5m)



# 試験結果

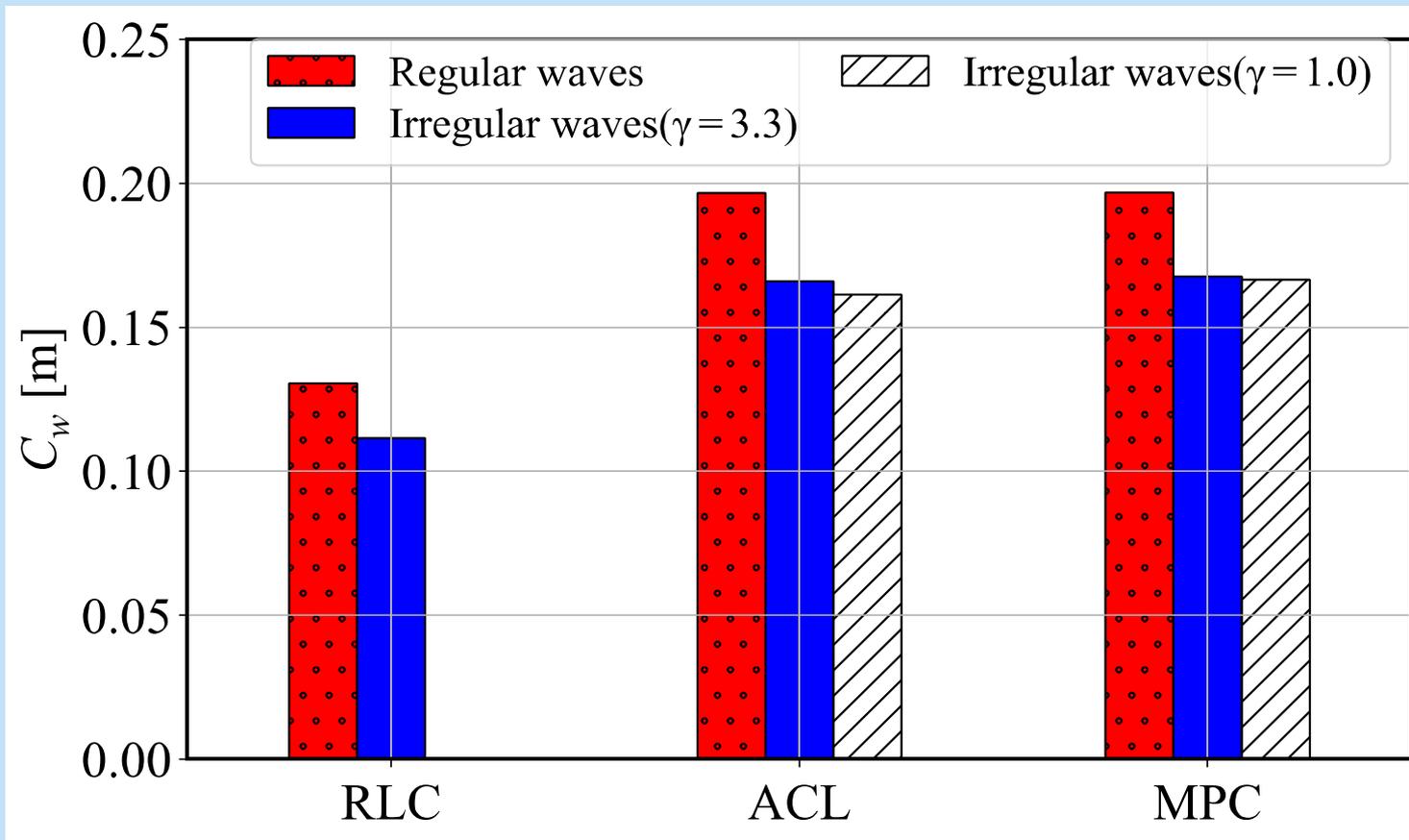
規則波 :  $H=0.21\text{m}$   
 $C_w = P_n/P_w$  (単位長波パワー)



# 試験結果

規則波 :  $H=0.21\text{m}$ ,  $T_w=2.65\text{s}$

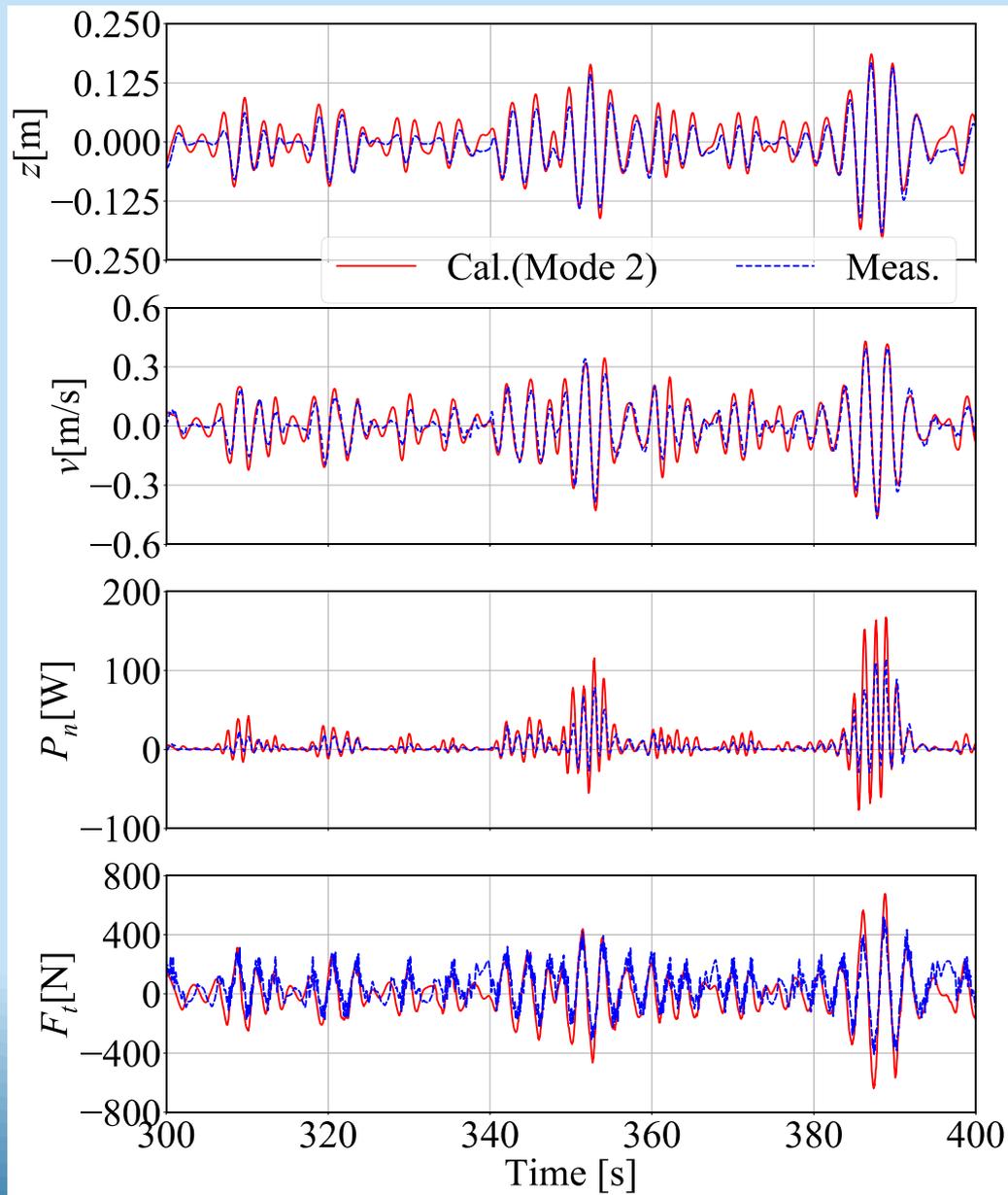
不規則波 : JONSWAP,  $H_{1/3}=0.21\text{m}$ ,  $T_s=2.65\text{s}$



MPCはACLと同程度になったが後で示すように発電量改善の余地有り。  
不規則波中においても規則波から大きく発電性能は劣化しない。  
広域な波の状況下でも有効に発電

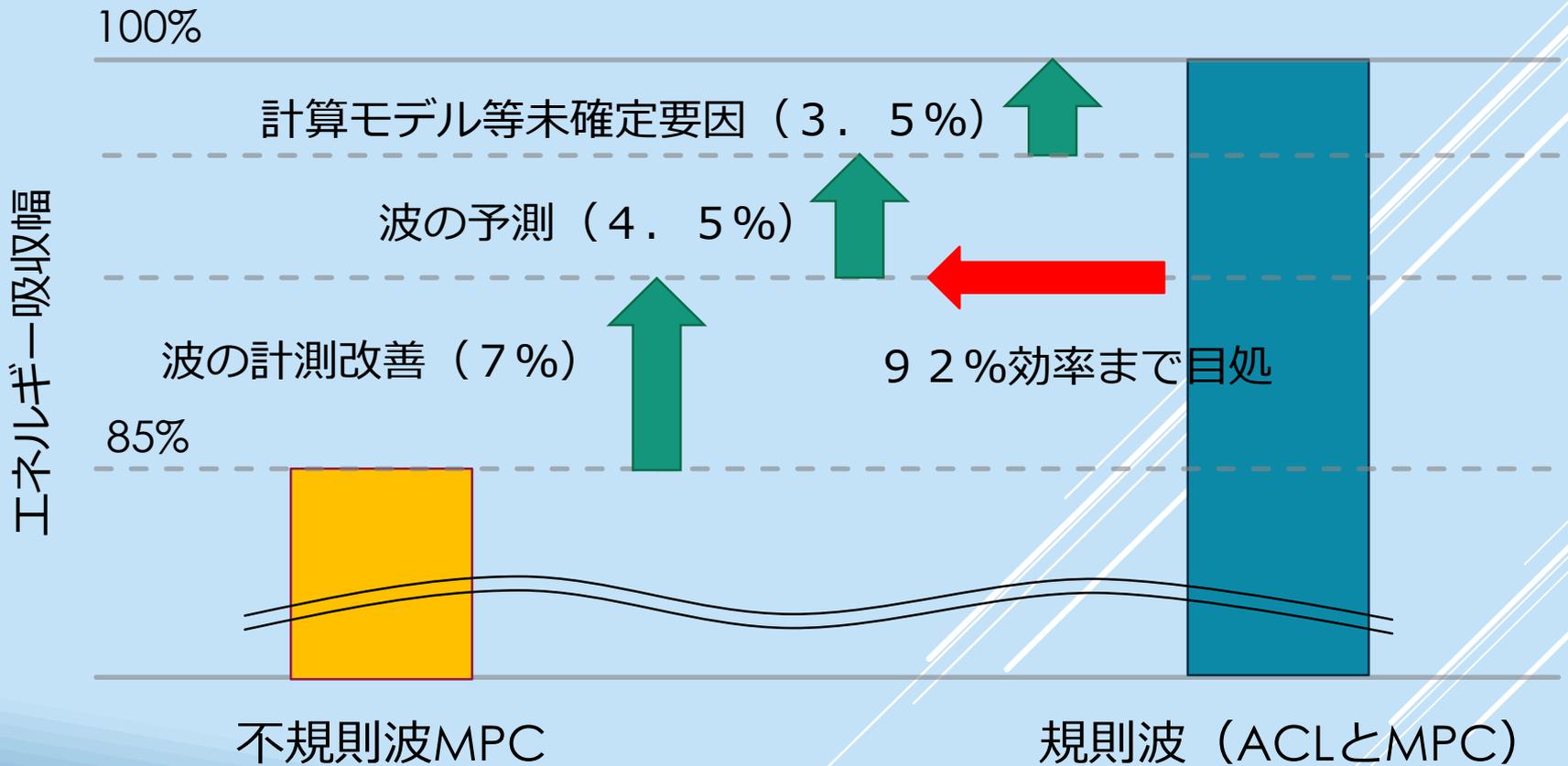
# シミュレーション結果との比較

不規則波：  
JONSWAP  
 $H_{1/3}=0.21\text{m}$   
 $T_s=2.65\text{s}$



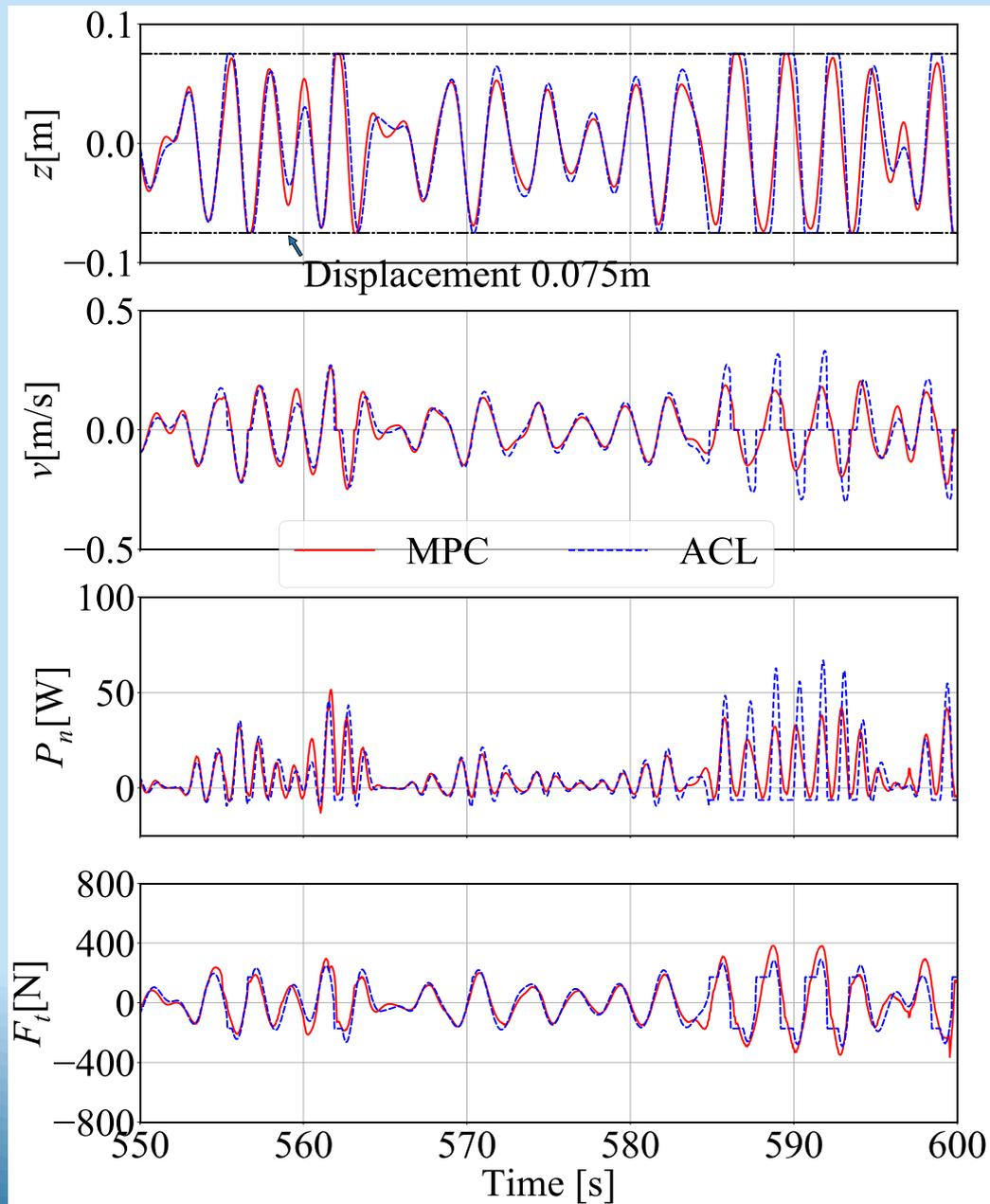
シミュレーション  
結果は水槽試験結  
果と良好に一致

# 波力エネルギー取得改善の分析 (シミュレーション計算による検討)



# 変位制限がある場合の作動時系列

不規則波：  
JONSWAP  
 $H_{1/3}=0.21\text{m}$   
 $T_s=2.65\text{s}$



MPC制御はソフト的  
に変位限界を考慮しな  
がら発電性能最適化

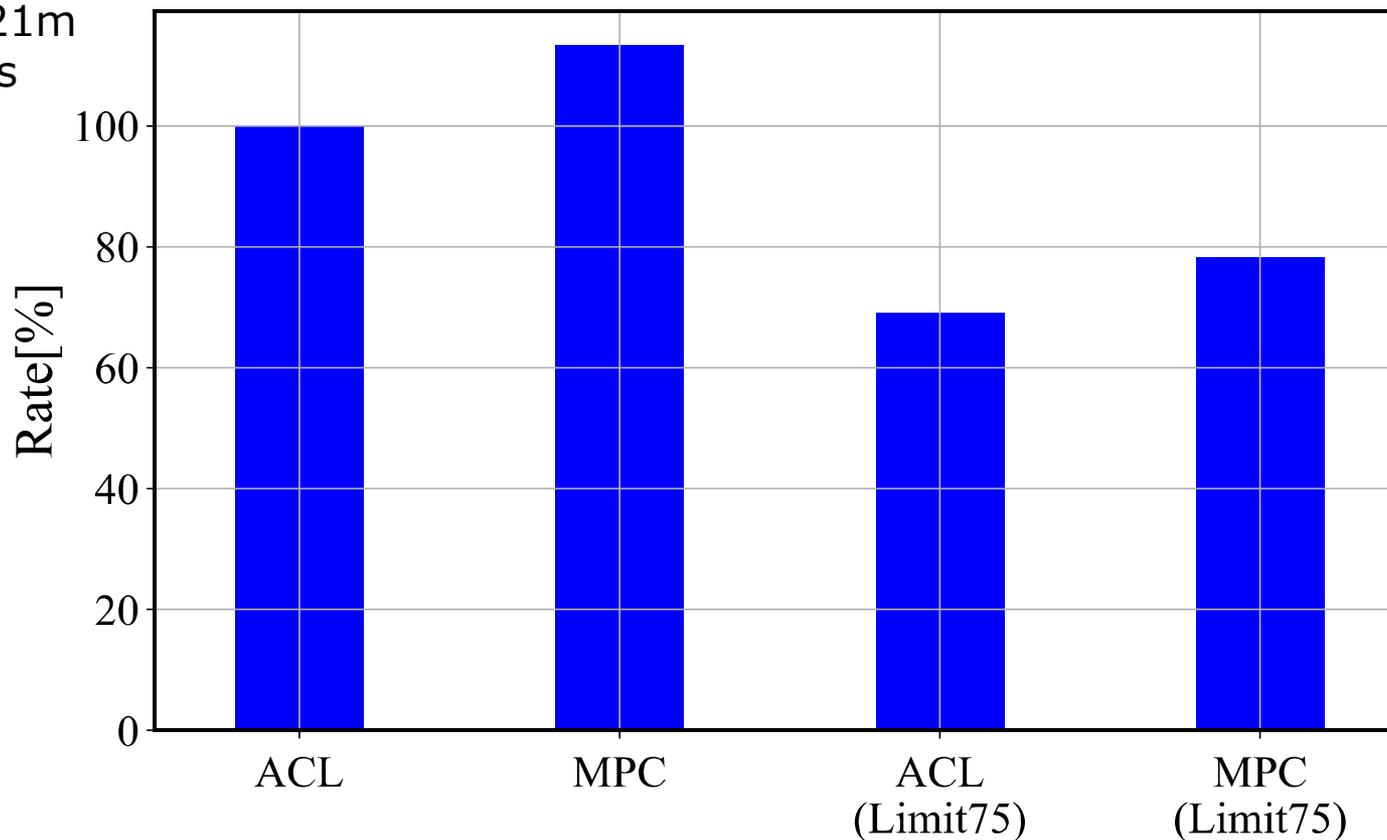
# 変位制限がある場合のエネルギー取得効率

シミュレーション結果

不規則波：JONSWAP

$H_{1/3}=0.21\text{m}$

$T_s=2.65\text{s}$



変位制限がある中でもMPCはACLに比べて有効に稼働  
装置の安全上、必須の技術

# まとめ

- 海技研で実施してきた波力発電装置研究全般を総括。今後の発展が期待される様々な発電装置の試験・シミュレーションを実施。
- NEDO技術研究開発事業においては、発電機にリニアモータを用いた並進動揺型波力発電装置を開発し、不規則波中での有効性を確認した。
  - i. 広域な波スペクトルを持つ波浪中においても、MPCは十分な発電性能を有した。
  - ii. 試験結果を考察するとMPCの発電量は、波高計測精度向上で7%、波予測精度向上で約5%等、改善が見込める。
  - iii. 変位制限下でもACLに比べてMPCは発電量が大きい。MPCの利用は、変位制限に達する可能性を減少させ、装置の安全上からも大きな利点。

## 謝辞

本研究発表に際し、NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）「海洋エネルギー技術研究開発/次世代海洋エネルギー発電技術開発/リニア式波力発電」関係各位、国土交通省海事局受託研究関係各位に謝意を表します。