

# ClassNK

---

R & D P R O J E C T

## ライザーのVIV対策技術に関する 実用化研究

一般財団法人 日本海事協会

東京大学

国立研究開発法人 海洋研究開発機構

三菱重工業株式会社

2015年9月

三菱重工業株式会社

1. 研究の背景・目的
2. ライザーの実運用における諸課題の整理
3. 新形式ライザーによるVIV対策技術の検討
4. VIV評価技術の適用性及び運用方法の検討
5. まとめ

1. **研究の背景・目的**
2. ライザーの実運用における諸課題の整理
3. 新形式ライザーによるVIV対策技術の検討
4. VIV評価技術の適用性及び運用方法の検討
5. まとめ

## 研究対象:ライザー

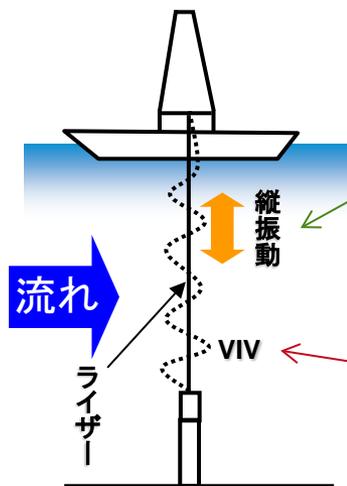
### <用途>

- 掘削ライザー: 海底を掘削するために用いられる。
- 生産ライザー: 海底油田から採取した原油を海面まで持ち上げるために用いられる。

### <ライザーの構造特性>

- ライザーは、その直径に対して長さが非常に長い線状構造物(長さ: ~数千mオーダー)
- 模型試験での挙動再現は困難であり、シミュレーションによる予測等が必要となる。

### <ライザーの力学的挙動における課題と本研究で対象とする現象>



#### 縦振動

船体上下方向の運動等によってライザーに変動張力が作用する。この縦振動に伴う圧縮力の発生と座屈を回避する必要がある。

#### VIV

潮流・海流に起因する渦の放出に伴い、比較的高い周波数の振動が発生する。この振動に伴う疲労破壊を回避する必要がある。

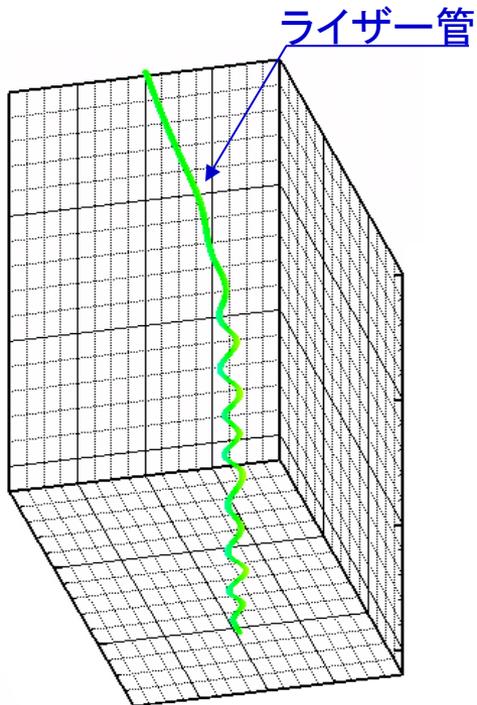
これまでの取組(日本海事協会の「業界要望による共同研究」にて実施)

## <「ライザーのVIV評価技術の構築及び知見の拡充」(H22年度～H24年度実施)>

- 実際の現象に近いモデルを導入した新たなVIV評価技術の構築
- 強海流／潮流域を対象とした流体力DBを取得するための実験・CFD技術の構築

### LINE3D VIV(東大鈴木研究室)

2方向連成VIVに対応した  
モデルへ拡張

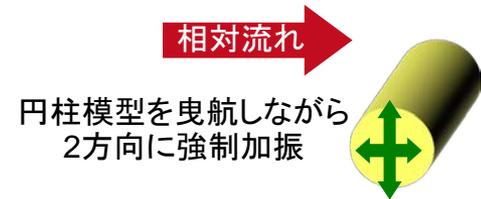


### 流体力DB取得のための実験・CFD技術(三菱重工)

実験技術: 模型を2方向加振して2方向連成を考慮した  
流体力の計測・評価が可能



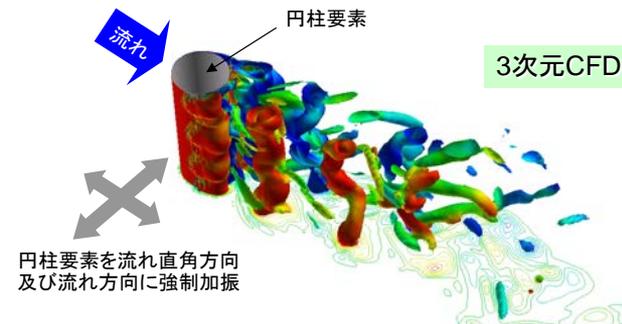
実験装置・模型



円柱模型を曳航しながら  
2方向に強制加振

実験の様子

CFD技術: 実験で再現困難な条件を代替



## 本研究の目的

- これまでの取組も含めて、各種技術をライザーのVIV対策へと実際に展開していくには、ライザーの実運用を踏まえて技術課題を明確化する必要がある。
- 本研究では、新たなVIV対策を提案・実用化していくために必要となる知見の獲得を主眼とし、ライザーの実運用上の技術課題や、ライザーの実運用を考慮した新技術に関して、基礎的な調査・研究を行った。

## 本研究の実施項目

- ライザーの実運用における諸課題の整理  
ライザーのオペレーションに関わる実運用上の技術課題を、主にVIV対策の観点から調査・整理する。
- 新形式ライザーによるVIV対策技術の検討  
オペレーションの負荷を軽減するような独自形式の新しいVIV対策技術について実験及びCFDによる評価を行い、そのVIV低減効果を検証する。
- VIV評価技術の適用性及び運用方法の検討  
これまでの取組で構築したVIV評価技術について適用性や運用方法を検討する。

1. 研究の背景・目的
- 2. ライザーの実運用における諸課題の整理**
3. 新形式ライザーによるVIV対策技術の検討
4. VIV評価技術の適用性及び運用方法の検討
5. まとめ

## 2. ライザーの実運用における諸課題の整理

ライザーの実運用における諸課題を調査し、「VIVの検討やVIV対策の計画」、「VIV対策技術」、「モニタリング技術」の観点で整理して、今後の技術開発の方向性に関する知見を得た。

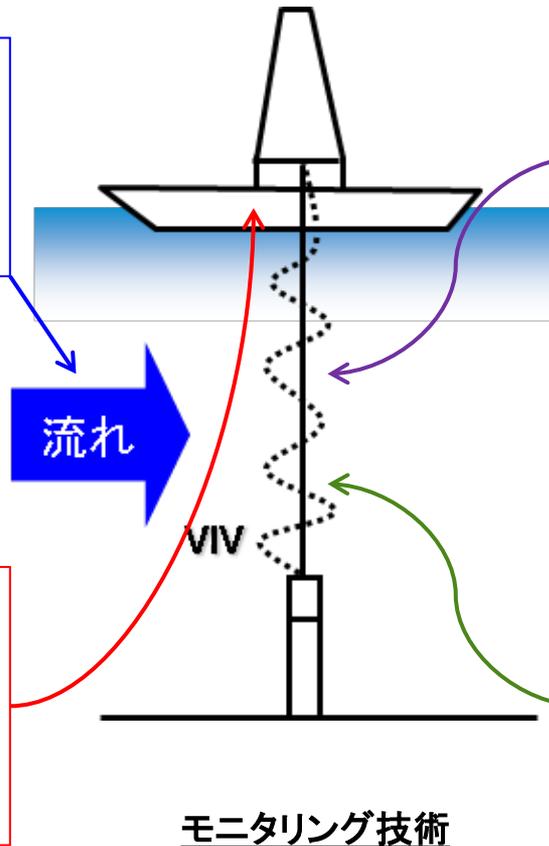
### 気海象予測・気海象データ

現状: 不確実性を考慮したオペレーションで保守性を担保  
将来: 不確実性を改善することが出来れば、オペレーションの効率が改善される可能性がある

### VIVの検討やVIV対策の計画

### 疲労損傷のマネジメント

現状: 計測と予測モデルを組合わせた間接的疲労損傷評価  
将来: 計測技術の革新によって、直接的疲労損傷評価へ移行することが出来れば、マネジメントの精度がより向上する可能性がある



### VIV対策技術

現状: VIV対策とオペレーションの効率はトレードオフの関係  
将来: オペレーションを極力阻害しないVIV対策が開発されれば、オペレーションの効率が改善される可能性がある

### VIV対策技術

### モニタリング技術

現状: 海中の長大線状構造物であり、計測データの質・量が限定される  
将来: 計測データの質・量が改善されれば疲労損傷のマネジメント等におけるオペレーションの質が向上する可能性がある  
また、ライザー挙動予測高度化のための検証データとしても有用

1. 研究の背景・目的
2. ライザーの実運用における諸課題の整理
- 3. 新形式ライザーによるVIV対策技術の検討**
4. VIV評価技術の適用性及び運用方法の検討
5. まとめ

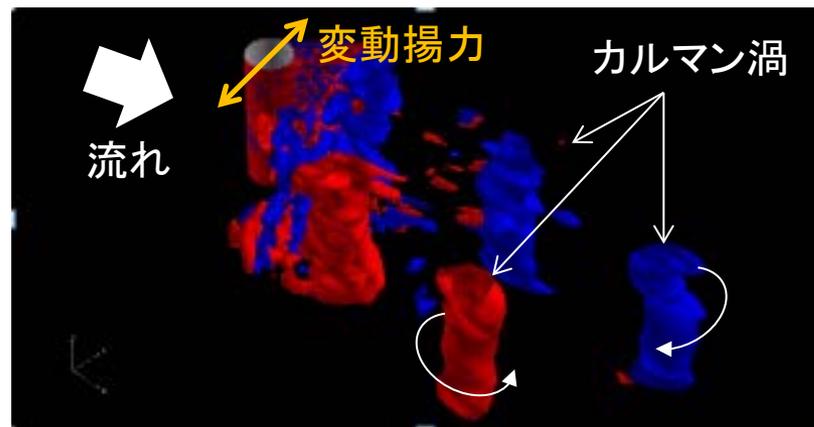
## 検討の背景

### ライザー管のVIV問題

- ・ライザー管が強い潮流・海流に曝されると、ライザー管の下流域でカルマン渦が発生し、ライザー管に流れ直角方向に周期的な変動揚力が作用する。  
ライザー管の固有振動数と渦の発生振動数が一致したときに共振現象 (VIV: Vortex Induced Vibration) が発生する。
- ・VIVは比較的高い周波数の変動揚力が発生するため、供用期間中に荷重が繰り返しライザー管に作用することで疲労破壊を生じる恐れがある。

### 新形式ライザーによるVIV対策技術

- ・三菱重工業株では、生体模倣技術としてザトウクジラの前ビレのコブに着目したカルマン渦の抑制技術「螺旋コブ」に取り組んでおり、その成果をライザーのVIV対策に適用すべく研究を行った。



ライザー管まわりの流れ  
赤: 時計回りの渦  
青: 反時計回りの渦

## 螺旋コブの特徴

螺旋コブを用いる場合の利点を既存のVIV対策と比較・整理すると下表の通りとなる。螺旋コブでは流体力特性の面でフェアリングに劣る可能性があるものの、作業性の観点ではフェアリングに勝るものと考えられる。

	 <p>螺旋コブ *三菱重工業(株)の社内研究で開発</p>	 <p>フェアリング</p>	 <p>ヘリカルフィン</p>
①	静止状態では円柱の1/3以下に渦励振力(揚力変動振幅)が低減されることを確認。 ※Re数10万におけるCFDでの確認	渦の剥離を抑制する流線型形状にて渦励振力が殆ど生じない。	円柱周りに発生する渦の長手方向の位相が崩れる為、組織的なカルマン渦が発達せず、渦励振力を抑制。
②	静止状態では、抗力係数が円柱相当(Re数<20万で1.2)以下。※抗力係数0.9~1.0程度	静止時・振動時共に、抗力係数が0.6程度	Re数によらず、抗力係数が1.3~1.5程度となり、円柱に対して悪化。
③	浮力材自体がVIV対策形状となるため、追加の取付・撤去作業は不要。	可動機構が含まれるため、ライザーの上げ下ろしの際に、追加の取付・撤去作業が必要。	後付方式の場合は、追加の取付・撤去作業が必要。

### 3. 新形式ライザーによるVIV対策技術の検討

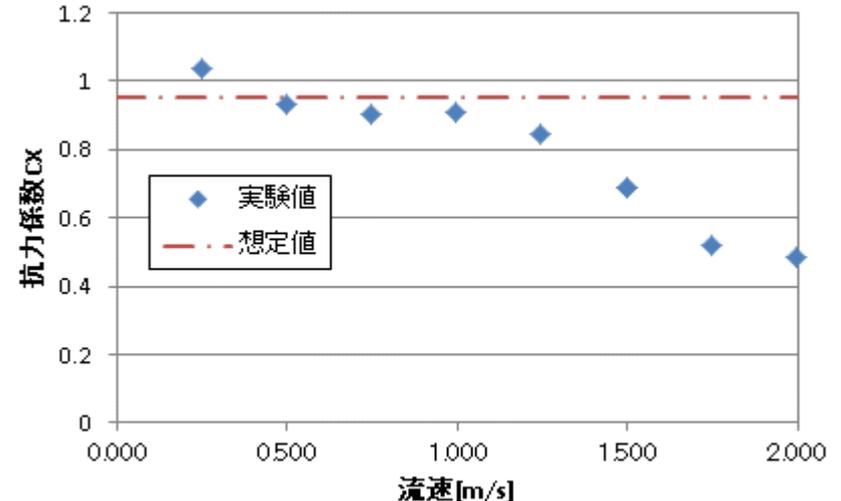
#### 流体力特性試験(水槽実験)

「螺旋コブ」の定量的な流体力特性を調査するため水槽実験を実施した。

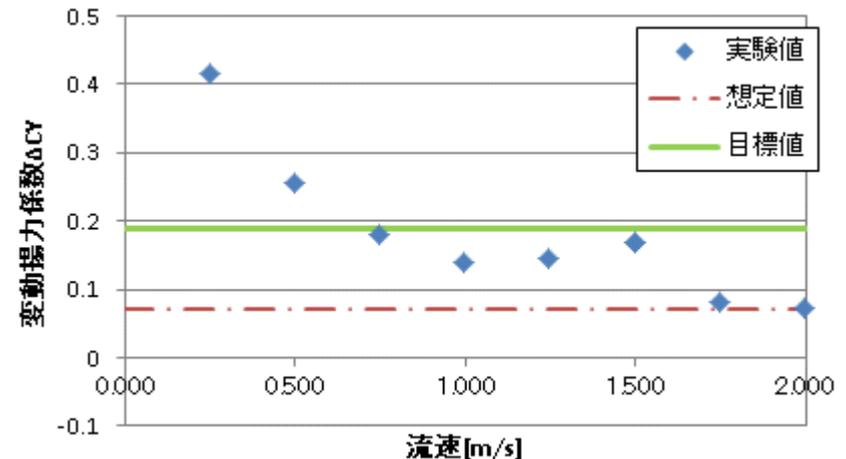
渦が強く発生する亜臨界のレイノルズ数領域 ( $Re \approx 10^5$ ) で、円柱に比較して、「螺旋コブ」の変動揚力係数  $C_{L,rms}$  が1/3程度、抗力係数  $C_D$  が3/4程度に低減されることが確認された。



水槽試験モデル



流速-抗力係数特性



流速-変動揚力係数特性

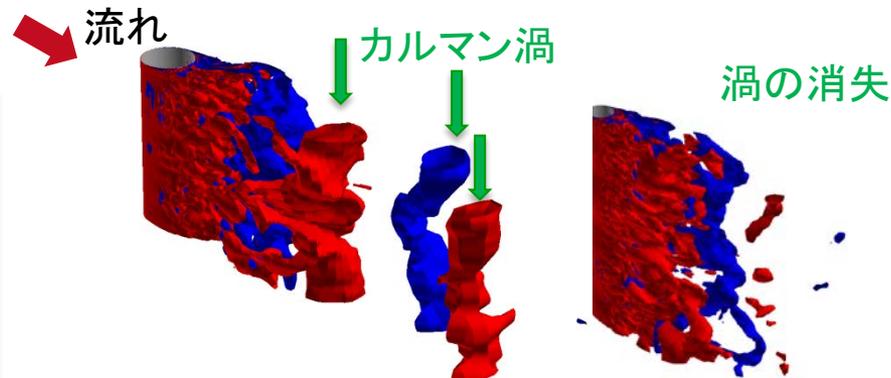
※想定値: 三菱重工業(株)の社内研究で実施したCFDによる想定値  
 目標値: 一般的な円柱の値に対して1/3程度となるよう設定

### 3. 新形式ライザーによるVIV対策技術の検討

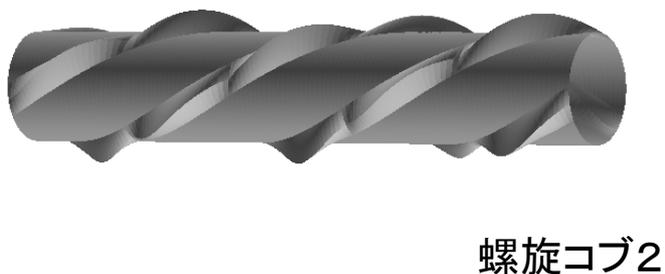
#### 流体力特性調査(水槽実験)

「螺旋コブ」より更なる流体力改善を目指し、「螺旋コブ2」を開発した(図左下)。その結果、「螺旋コブ2」の変動揚力係数(右下図)は、円柱に比較して1/10程度となり、かつ「螺旋コブ」よりも変動揚力係数が小さくなることが確認された。

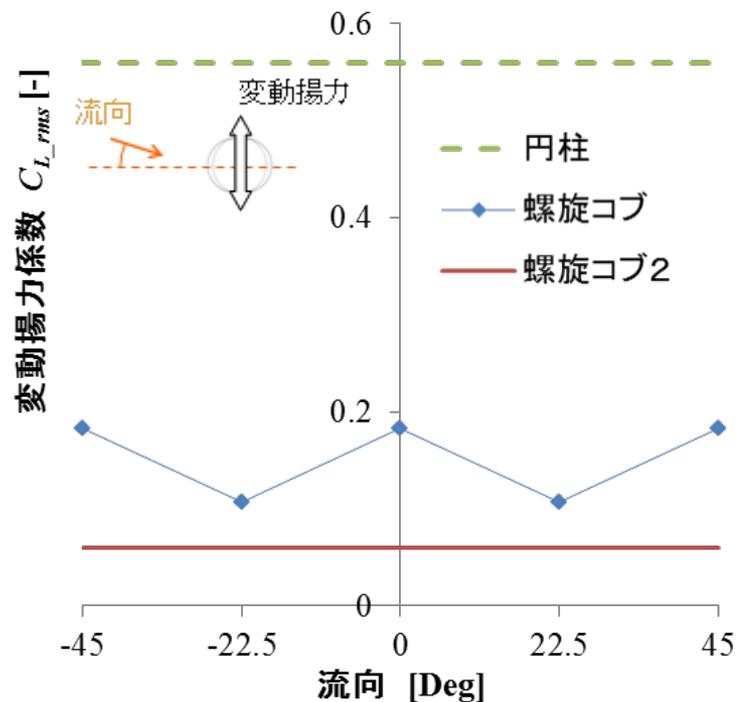
コブをつけることでカルマン渦が消失していることをCFDによる可視化で確認した(右上図)。



渦度分布(左:円柱, 右:螺旋コブ)



解析モデル



流向一流体力特性

### 3. 新形式ライザーによるVIV対策技術の検討

#### 振動特性試験(風洞実験)

新たに開発した制振デバイス「螺旋コブ2」のVIV制振効果を確認するため、風洞実験を実施した。質量・減衰パラメータが1.3以上で、**渦励振の振幅は円柱に対して1/6以下になることが確認された。**

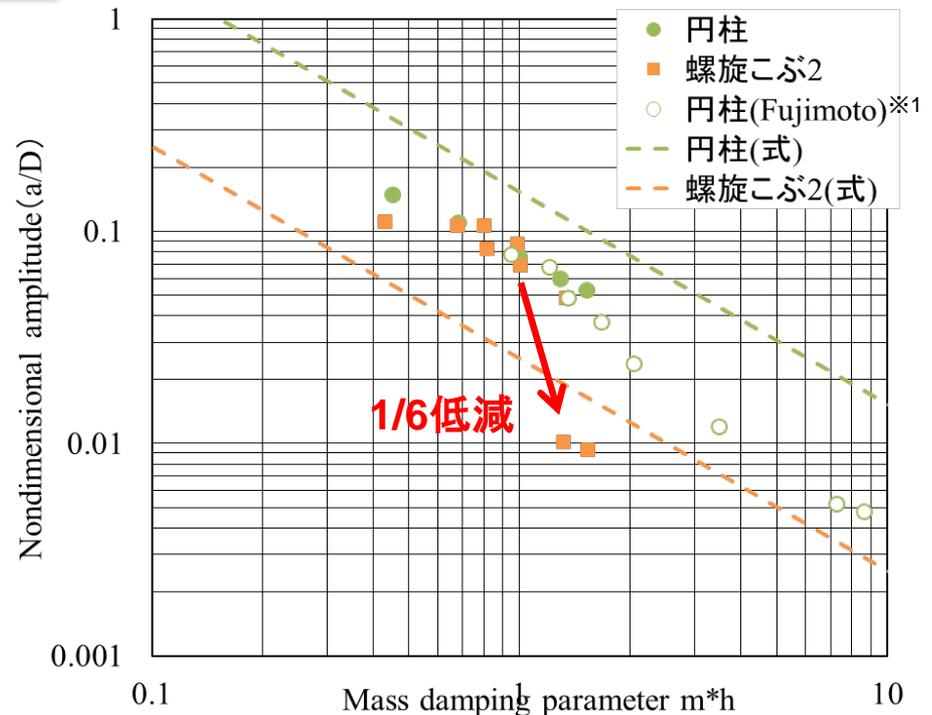


風洞試験モデル

#### 推定式

$$a/D = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{1}{St^2} \cdot \frac{1}{m^*h} \cdot \sqrt{2} C_{L\_rms} \quad m^*h = \frac{4mh}{\rho\pi D^2}$$

a: 渦励振振幅, D: 直径, St: ストローハル数  
m: 単位長さ質量, h: 減衰定数, ρ: 空気密度



質量減衰パラメータ-無次元振幅特性

※1 藤本信弘, 大橋治一, 本田明弘, "円柱ケーブルの渦励振に関する研究", 土木学会第46回年次学術講演会, 1991

1. 研究の背景・目的
2. ライザーの実運用における諸課題の整理
3. 新形式ライザーによるVIV対策技術の検討
4. **VIV評価技術の適用性及び運用方法の検討**
5. まとめ

# 4. VIV評価技術の適用性及び運用方法の検討

これまでの取組で構築したVIV評価技術として、  
東京大学が開発したLINE3D\_VIVの適用性及び運用方法を検討した。

LINE3D\_VIV※について ※東大鈴木研究室で開発されたVIV解析コード

## LINE3D

- ・幾何学的非線形性を考慮した3次元FEM  
(梁要素により線状構造物をモデル化)

### 数値フィルター

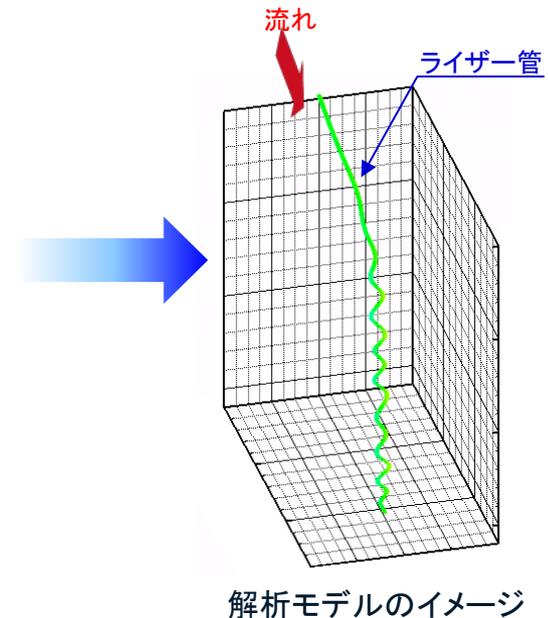
各節点における振動の  
振幅、周波数、位相を抽出

### 流体力データベース

LINE3D\_VIVで追加された機能

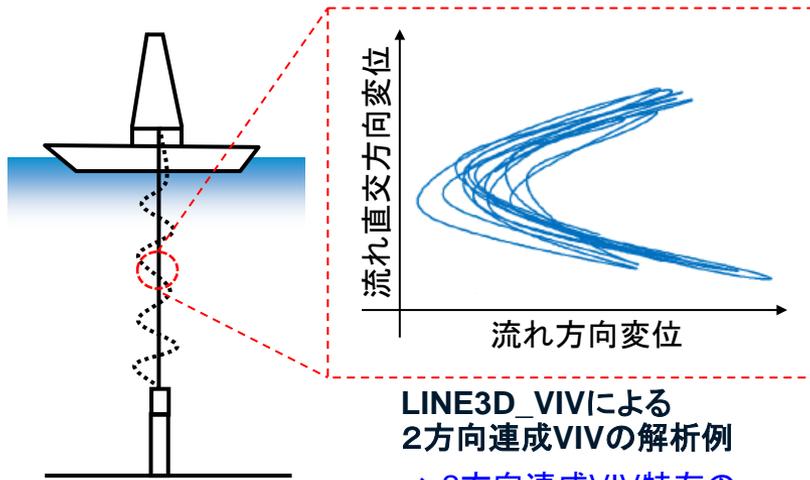
VIV流体力等を  
外力として付加

H22年度～H24年度の間で2方向連成VIVに対する機能が追加された



## LINE3D\_VIVの適用性検討

- ・計算不安定性の影響をより受けやすい2方向連成VIVに対応して、解析コードのブラッシュアップを実施
- ・課題はなお残るものの、各種対策により2方向連成VIVの計算が安定化

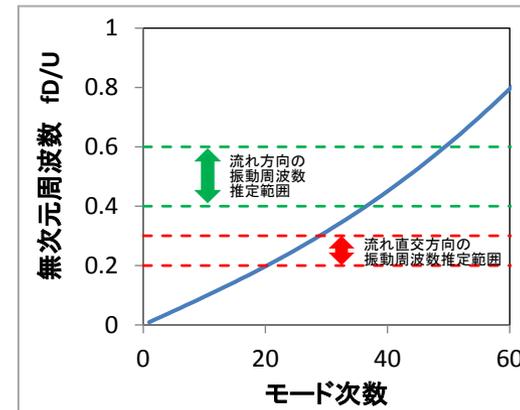


LINE3D\_VIVによる  
2方向連成VIVの解析例

⇒ 2方向連成VIV特有の運動軌跡が再現され、より実際に近い現象に対する解析コードの適用性を確認

## LINE3D\_VIVの運用方法検討

- ・計算インプット作成等に関する計算実行方法を形式知化
- ・解析設定として要素分割や時間刻みを決める際の簡易検討方法等に関するノウハウを形式知化。



応答モード  
応答周波数を推定

要素分割や時間刻みを設定

要素分割や時間刻みに関する  
簡易検討方法のイメージ

1. 研究の背景・目的
2. ライザーの実運用における諸課題の整理
3. 新形式ライザーによるVIV対策技術の検討
4. VIV評価技術の適用性及び運用方法の検討
5. **まとめ**

- ライザーのオペレーションに関わる実運用上の技術課題を明らかにし、VIV対策技術における今後の技術開発の方向性について知見を得た。
- 「螺旋コブ」を用いた新形式ライザーによるVIV対策技術についてCFD・水槽実験・風洞実験を実施し、流体力特性や振動低減特性を明らかにすることで、VIV低減効果を検証した。
- これまでの取組で構築したVIV評価技術として、東京大学が開発した解析コードLINE3D\_VIVのブラッシュアップを行い、2方向連成VIVに対する適用性を確認するとともに、同コードを運用するための計算実行方法・ノウハウを形式知化した。

### 【研究体制】

本研究開発は、  
一般財団法人 日本海事協会  
東京大学  
国立研究開発法人 海洋研究開発機構 (JAMSTEC)  
三菱重工業株式会社  
の共同研究体制により実施しました。

また、日本海事協会の「業界要望による共同研究」のスキームにより同協会の支援を受けて研究を実施しました。