

クレジット:

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017 吉村忍

ライセンス:

利用者は、本講義資料を、教育的な目的に限ってページ単位で利用することができます。特に記載のない限り、本講義資料はページ単位でクリエイティブ・コモンズ 表示-非営利-改変禁止 ライセンスの下に提供されています。

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

本講義資料内には、東京大学が第三者より許諾を得て利用している画像等や、各種ライセンスによって提供されている画像等が含まれています。個々の画像等を本講義資料から切り離して利用することはできません。個々の画像等の利用については、それぞれの権利者の定めるところに従ってください。

学術俯瞰講義

2017年度 S semester 主教科目／学術フロンティア講義 2単位 1、2年生対象

工学とは

コーディネータ・ナビゲータ：北森武彦、光石 衛、小関敏彦（工学部）

2017/5/1

<講義概要>

この講義は「工学とは？」の問いかけに始まり「工学とは」の答えに終わることを目標とする。どこかの大学にも有り高校までに習うことのない「工学」とはいったいどのような学問なのか。学ぶ方も教える方もわかっていそうでもない「工学」について、具体的な例から俯瞰してみよう。

講義期間：4月10日～7月10日

北森武彦（工学部）

- ・序1：学問と組織（工学と工学部）
- ・序2：学問と社会（震災と工学）
- ・私の工学：液体の集積回路を創ると？

吉村忍（工学部）

- ・工学教育の体系：シリーズ東京大学工学教程

Dario Gil (IBM Research, Vice President)

- ・学問と産業の急接近：情報社会を創る工学

合原一幸（生体情報研究所）

- ・情報社会の工学1：ソフト（脳型コンピューター）

古澤明（工学部）

- ・情報社会の工学2：ハード（量子コンピューター）

藤田香織（工学部）

- ・歴史と文化と工学：伝統的な木造建築と地震

小関敏彦（工学部）

- ・環境・安全と工学：移動体における材料工学
- ・持続可能社会と工学：エネルギー、インフラと材料工学

光石衛（工学部）

- ・医療と工学：医療用ロボット工学
- ・工学とは何か。

駒場キャンパス 21 KOMCEE West 月曜日 5時限 (05:50-18:35) レクチャールーム

<http://www.gfk.c.u-tokyo.ac.jp/>



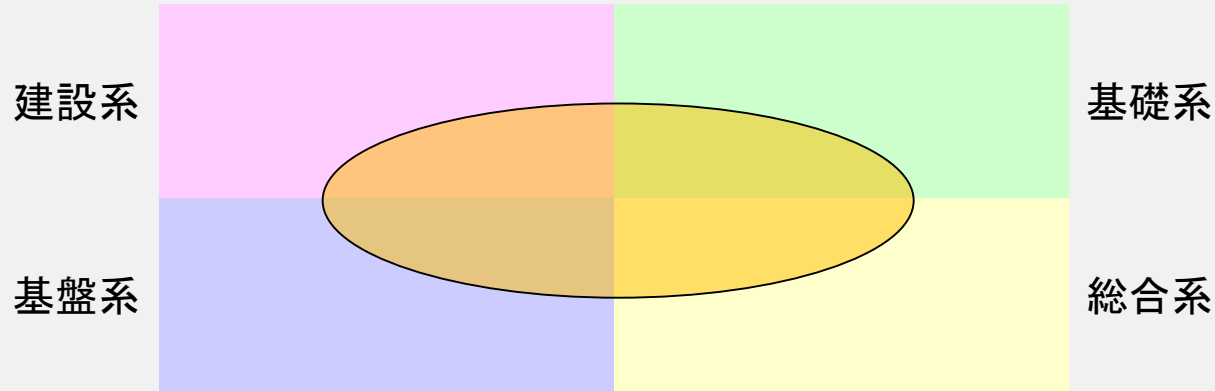
学術俯瞰講義 工学とは

北森武彦(工学部)	序1: 学問と組織(工学と工学部)	4月10日
	序2: 学問と社会(震災と工学)	4月17日
	私の工学: 液体の集積回路を創ると?	4月24日
吉村忍(工学部)	工学教育の体系: シリーズ東京大学工学教程	5月 1日
合原一幸(生産技術研究研)	情報社会の工学1: ソフト(脳型コンピューター)	5月 8日
Dario Gil (IBM Research)	学問と産業の急接近: 情報社会を創る工学 Novel Engineering opening Information Society	5月15日
古澤明(工学部)	情報社会の工学2: ハード(量子コンピューター)	5月22日
藤田香織(工学部)	歴史と文化と工学: 伝統的な木造建築と地震	6月 5日
小関敏彦(工学部)	環境・安全と工学: 移動体における材料工学	6月12日
	持続可能社会と工学: エネルギー、インフラと材料工学	6月19日
光石衛(工学部)	医療と工学: 医療用ロボット工学	6月26日
	工学とは何か。	7月 3日

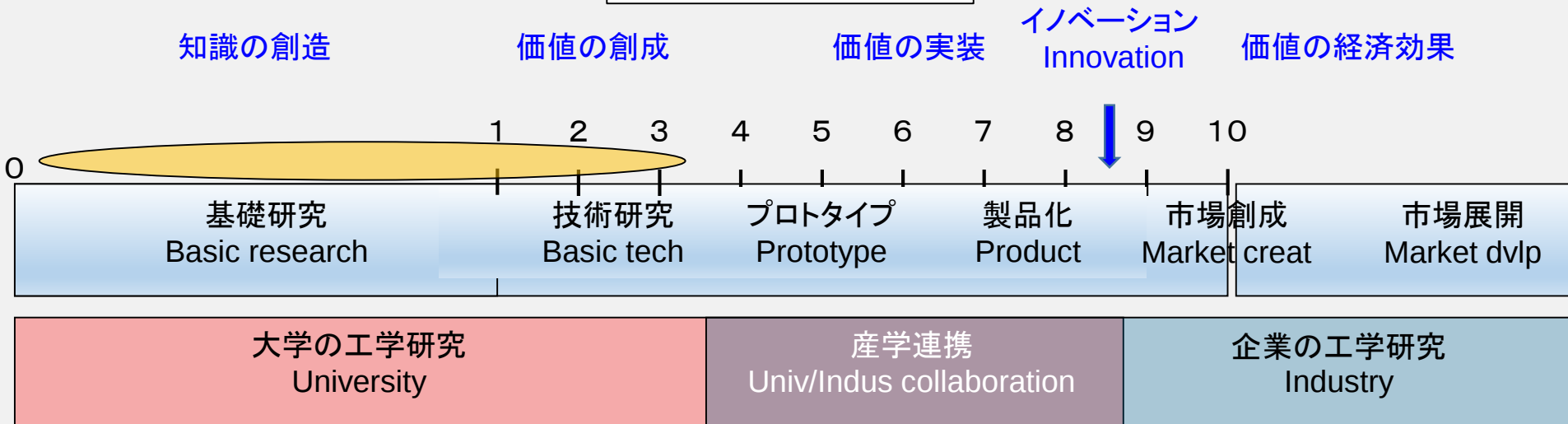
2017/5/1

今日の工学の講義はどこに位置する？ 吉村教授の場合

工学研究(教育)の分野



工学研究のフェイズ



2017年度Sセメスター 学術俯瞰講義
工学とは

工学教育の体系： シリーズ東京大学工学教程 UTokyo Engineering Course

吉村 忍

工学部システム創成学科
大学院工学系研究科システム創成学専攻

工学部の学科等組織

■ 工学部を構成する16学科

- | | |
|-----------|-------------|
| ◆ 社会基盤学科 | ◆ 電気電子工学科 |
| ◆ 建築学科 | ◆ 物理工学科 |
| ◆ 都市工学科 | ◆ 計数工学科 |
| ◆ 機械工学科 | ◆ マテリアル工学科 |
| ◆ 機械情報工学科 | ◆ 応用化学科 |
| ◆ 航空宇宙工学科 | ◆ 化学システム工学科 |
| ◆ 精密工学科 | ◆ 化学生命工学科 |
| ◆ 電子情報工学科 | ◆ システム創成学科 |

■ 工学部から進学する大学院研究科

- 工学系研究科
- 新領域創成科学研究科
- 情報理工学系研究科
- 情報学環・学際情報学府

工学系研究科の専攻等組織

- | | |
|-------------|-----------------|
| ◆ 社会基盤学専攻 | ◆ マテリアル工学専攻 |
| ◆ 建築学専攻 | ◆ 応用化学専攻 |
| ◆ 都市工学専攻 | ◆ 化学システム工学専攻 |
| ◆ 機械工学専攻 | ◆ 化学生命工学専攻 |
| ◆ 航空宇宙工学専攻 | ◆ 先端学際工学専攻 |
| ◆ 精密工学専攻 | ◆ 原子力国際専攻 |
| ◆ 電気系工学専攻 | ◆ バイオエンジニアリング専攻 |
| ◆ 物理工学専攻 | ◆ 技術経営戦略学専攻 |
| ◆ システム創成学専攻 | ◆ 原子力専攻(専門職大学院) |

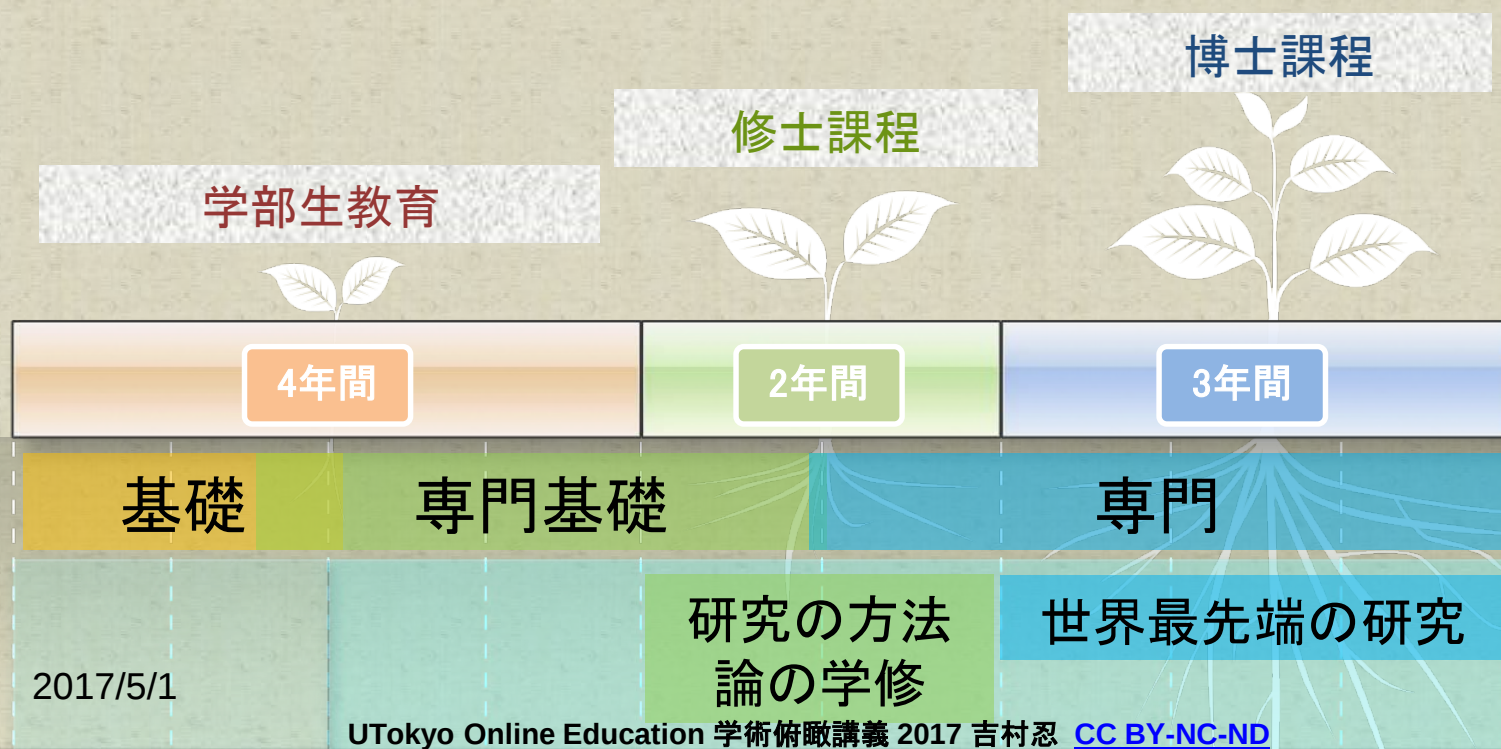
- 18専攻
- 2附属機構
- 7附属センター等

- 総合研究機構
- 国際工学教育推進機構
- 水環境制御研究センター
- 量子相エレクトロニクス研究センター
- エネルギー・資源フロンティアセンター
- 光量子科学研究センター
- 医療福祉工学開発評価研究センター
- レジリエンス工学研究センター
- スピロニクス学術連携研究教育センター

- ✓ 先端学際工学専攻は、博士課程のみ
- ✓ 原子力専攻は、1年間の専門職大学院
- ✓ 都市工学専攻には、主として社会人を対象とした「都市持続再生学コース」を設置

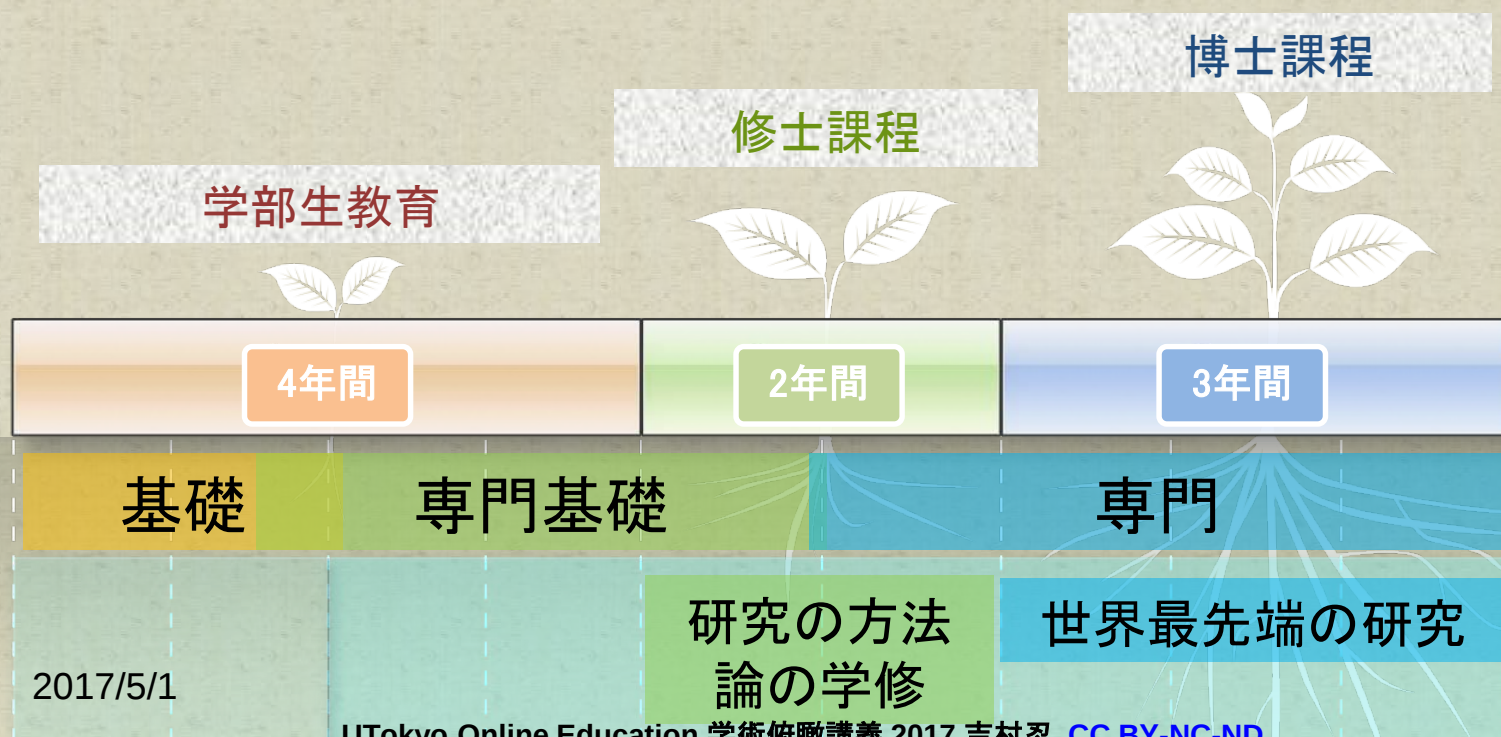
工学部の研究教育の目的

本学部は、豊かな教養，国際性，科学技術に対する体系的な知識を身につけ，研究，開発，設計，生産，計画，経営，政策提案等において，工学的手法を活用して人類社会の持続と発展に貢献できる指導的人材を養成することを目的とする。



工学系研究科の研究教育の目的

豊かな教養に裏付けられた，科学技術に対する体系的な知識と工学的な思考方法を身につけ，工学とその活用に係わる研究，開発，計画，設計，生産，経営，政策提案などを，責任を持って担うことのできる人材を育成し，**未踏分野の開拓**や**新たな技術革新に繋がる研究へと果敢に挑戦し**，**人類社会の持続と発展に貢献**することを教育研究上の目的とする。



世界最先端の工学研究の一事例

連成現象と連成シミュレーションの挑戦



工学研究の一事例 連成現象と連成シミュレーションの挑戦

吉村 忍

東京大学工学部システム創成学科
大学院工学系研究科システム創成学専攻

連成現象と連成解析



連成現象、連成問題あるいは連成力学とは、
2種類以上の異なる力学現象が相互関連する
複合現象のことを意味する。

連成解析とは

- 別々の物理現象が互いに影響を及ぼしあっている場を連成して解く。
- 従来の人工物の設計評価においては、利用可能な計算機資源の制限と取り扱いの容易さから、**連成効果を無視**して単一現象として解析することが多かった。
- 流体－構造連成振動に代表されるように、連成現象に起因する事故が起こると、「**予見できなかった事故**」という印象を抱かれる。

代表的な連成現象

(a) 流体－構造連成

(FSI: Fluid-Structure Interaction)

(b) 熱－流体－構造連成

(c) 電磁－構造連成

(d) 電磁－流体－構造連成

(e) 音響－構造連成

(f) 地盤－構造連成

(g) 制御－構造連成

(h) 電磁－音響－制御－構造連成

工学分野におけるFSI 現象

Tacoma Narrows Bridge
Collapse (Sound Version)
(Standard 4:3)

<https://archive.org/details/SF121> (ref. 20170502) 

Tacoma橋の落下事故

高速増殖炉もんじゅの
熱電対細管の流体構
造連成振動破壊



By Siemens Pressebild
From Wikimedia
Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dampfturbine_Laeufer01.jpg
(ref. 20170502)
CC BY-SA 3.0

タービン翼の流力振動破壊

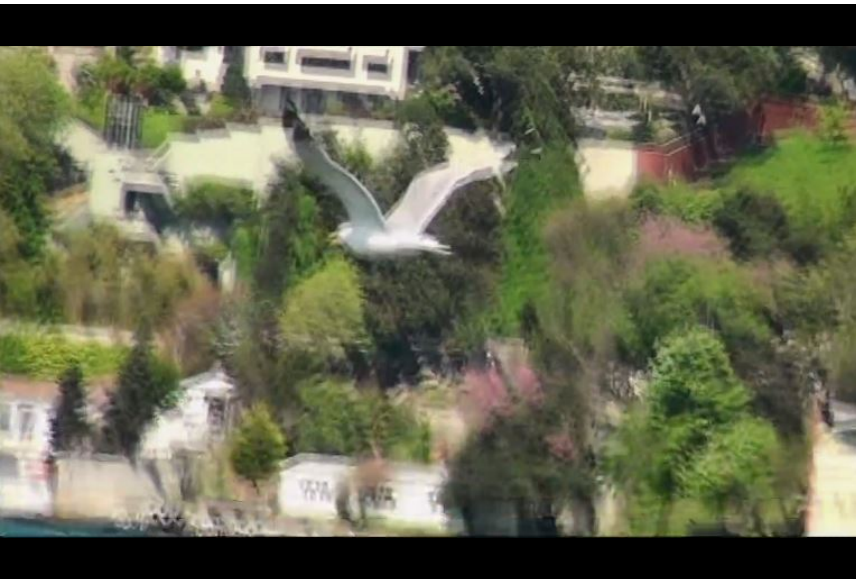
2017/5/1

会計検査院平成7年度決算検査報告『高速増殖原型炉
もんじゅのナトリウム漏えい事故について』 参考図2
<http://report.jbaudit.go.jp/org/h07/1995-h07-0433-0.htm> (ref. 20170502)

自然界におけるFSI現象

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画
像を削除しました。

ホバリングする鳥



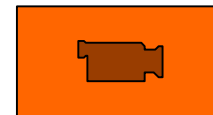
Flapping Flight of Insects and Birds



Micro flying Robot Laboratory, Nippon Bunri Univ.

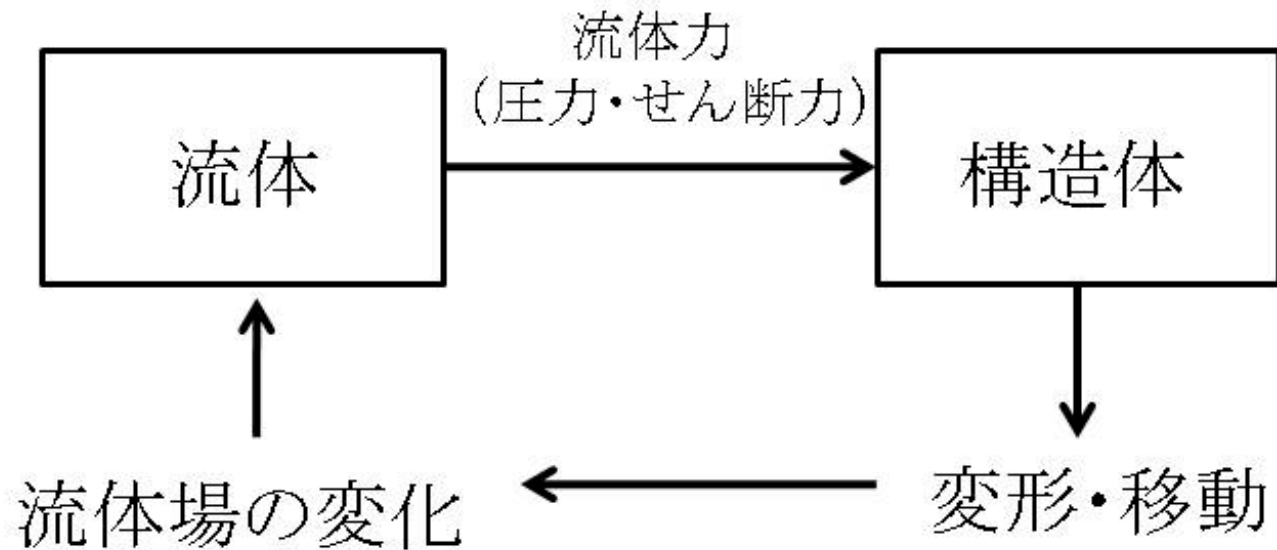
<http://www.nbu.ac.jp/~mfri/research.html>

Copyright(c)2007-2009 Micro Flying Robot Laboratory, Nippon Bunri University.
All rights reserved (ref. 20170502)

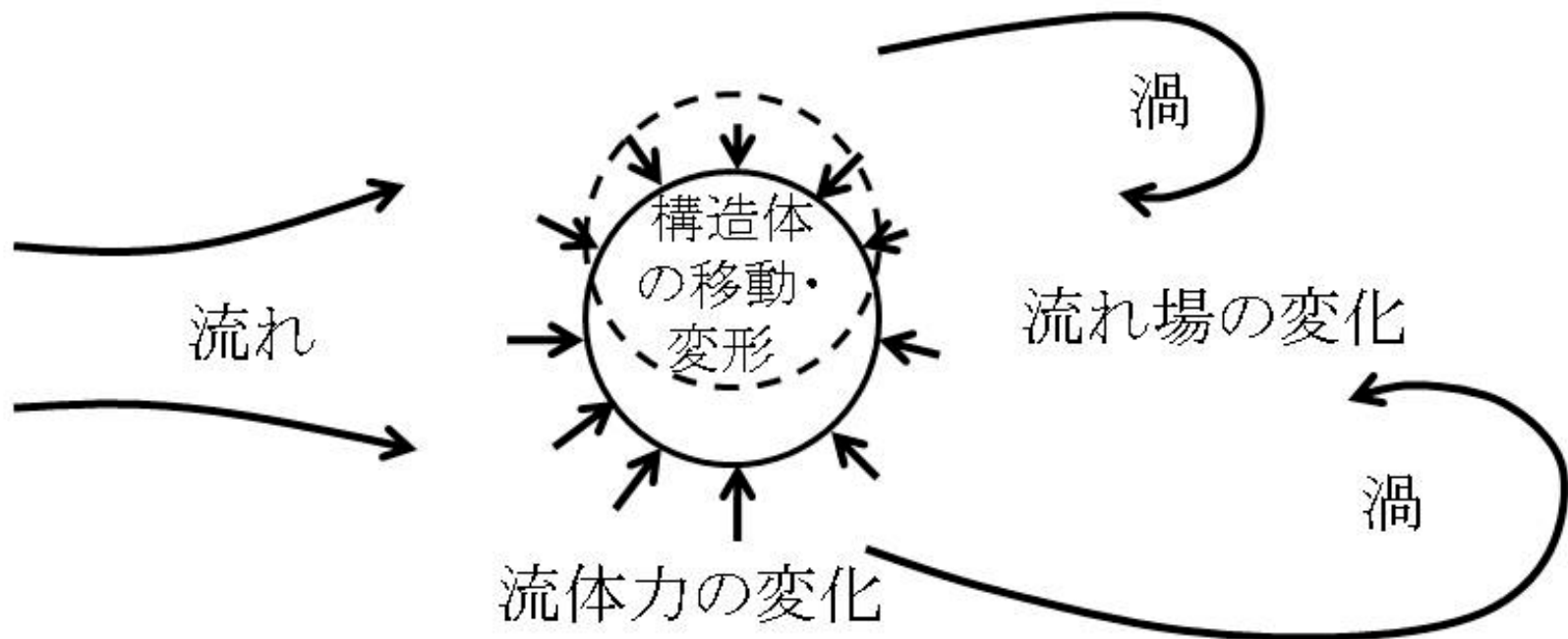


2017/5/1 風にそよぐ葉

流体構造連成現象の模式図

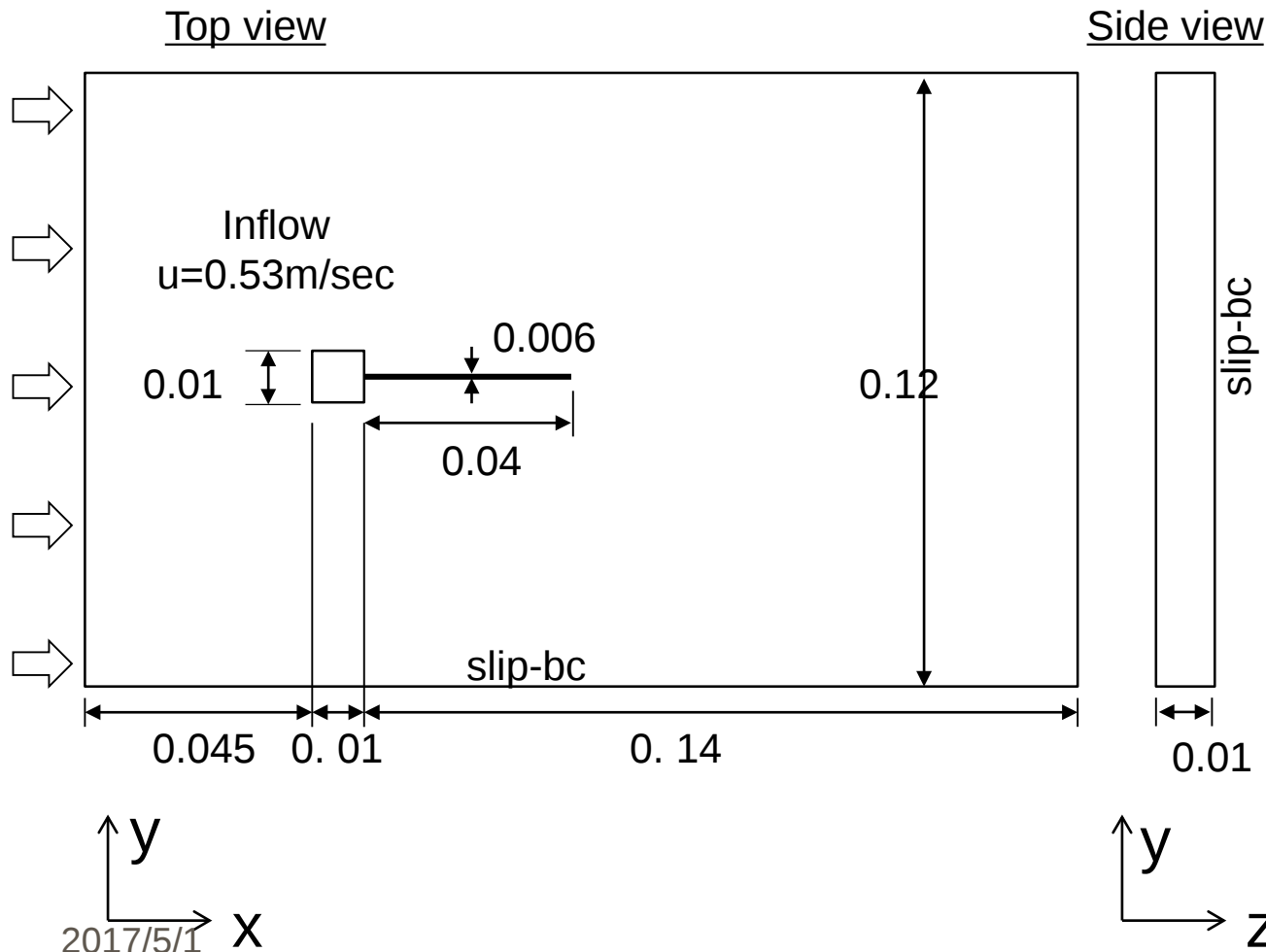


カルマン渦による 流体構造連成振動のメカニズム



フィン付角柱周りの流れと流力連成振動

ADVENTURE_Solid + ADVENTURE_Coupler
+ ALE付FrontFlow/blue



流体

密度 1.18 kg/m^3

粘性係数 1.82×10^{-5}
(Pa.s)

構造

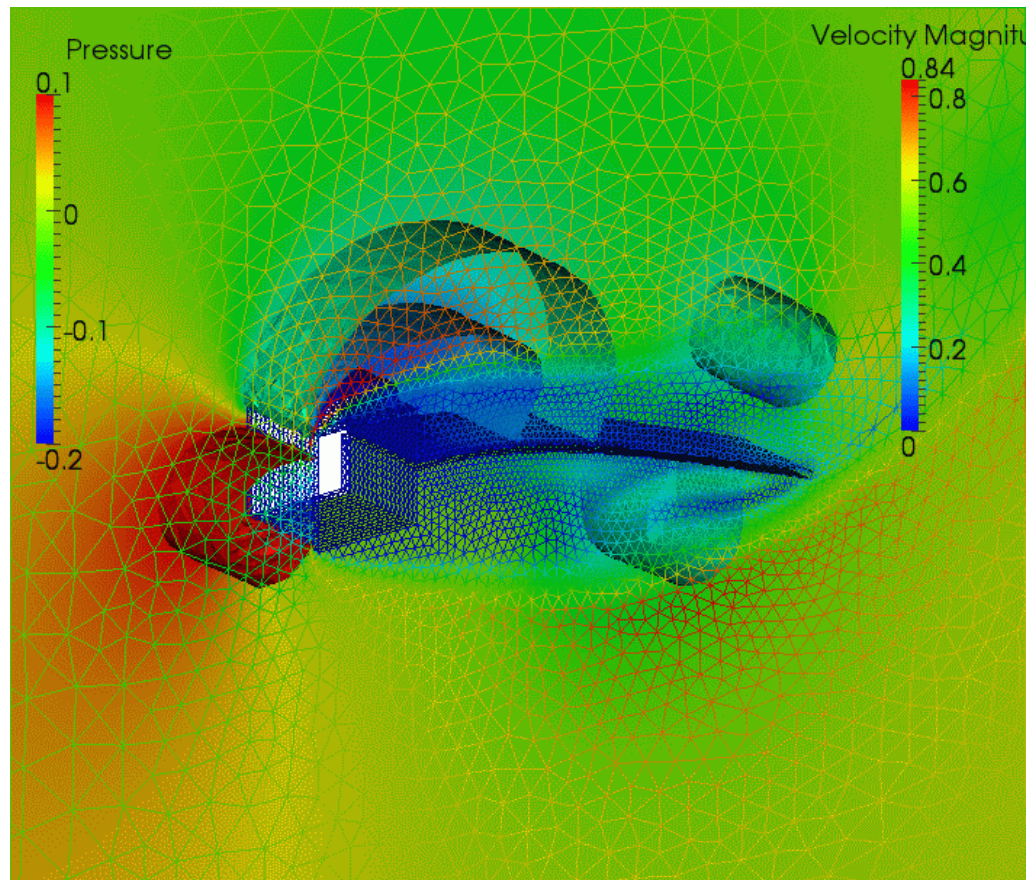
ヤング率: $2.5 \times 10^5\text{ Pa}$

ポアソン比: 0.35

質量密度: 100 kg/m^3

時間ステップ $\Delta t = 5 \times 10^{-4}$

アニメーション



弾性翼のはばたき解析

長方形の板で近似
寸法は、ガガンボを参考に設定

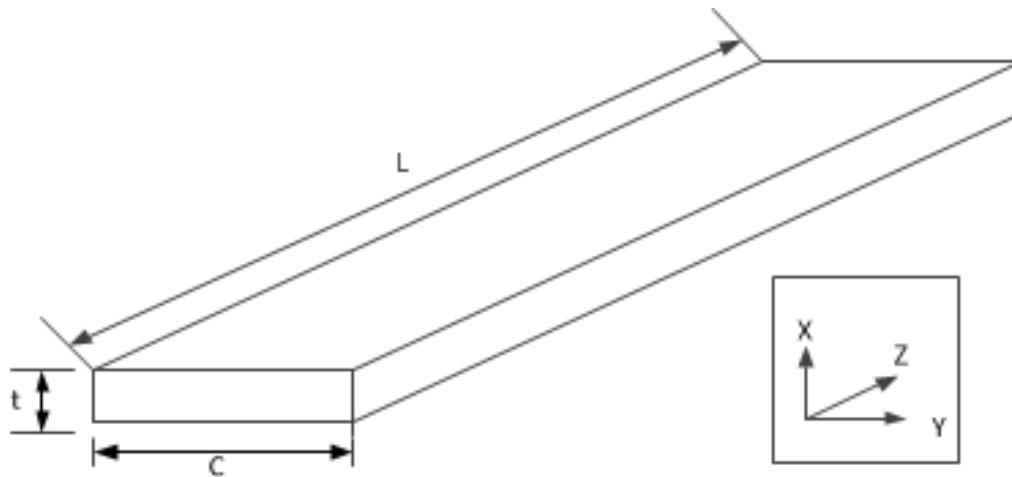


Photo By
PiccoloNamek From
Wikimedia Commons
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CraneFly.jpg> (ref. 20170502)
CC BY-SA 3.0

ガガンボ



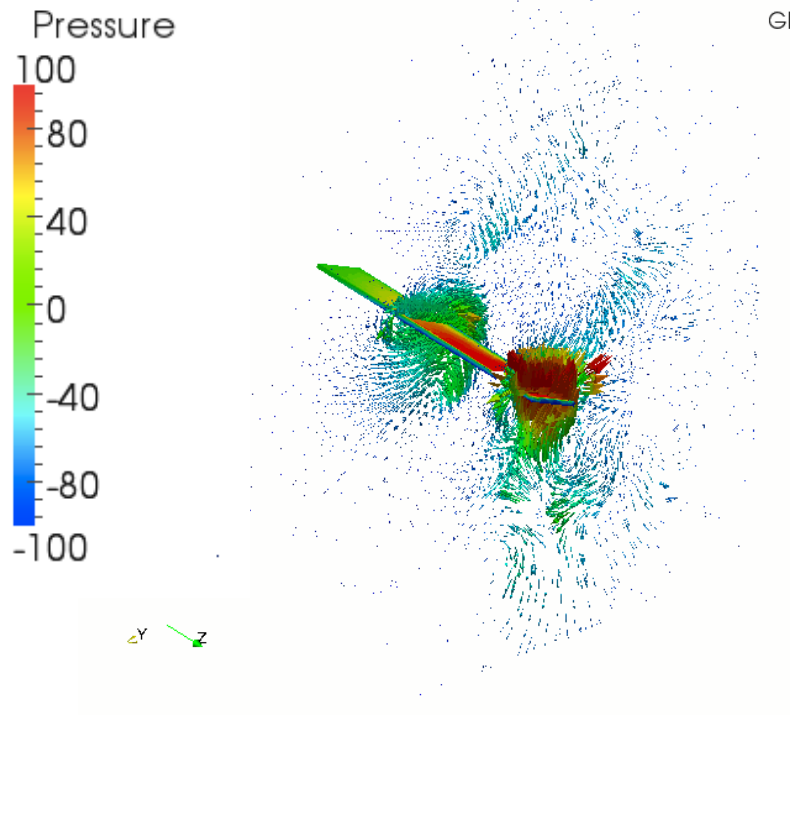
翼形状と座標系

2017/5/1

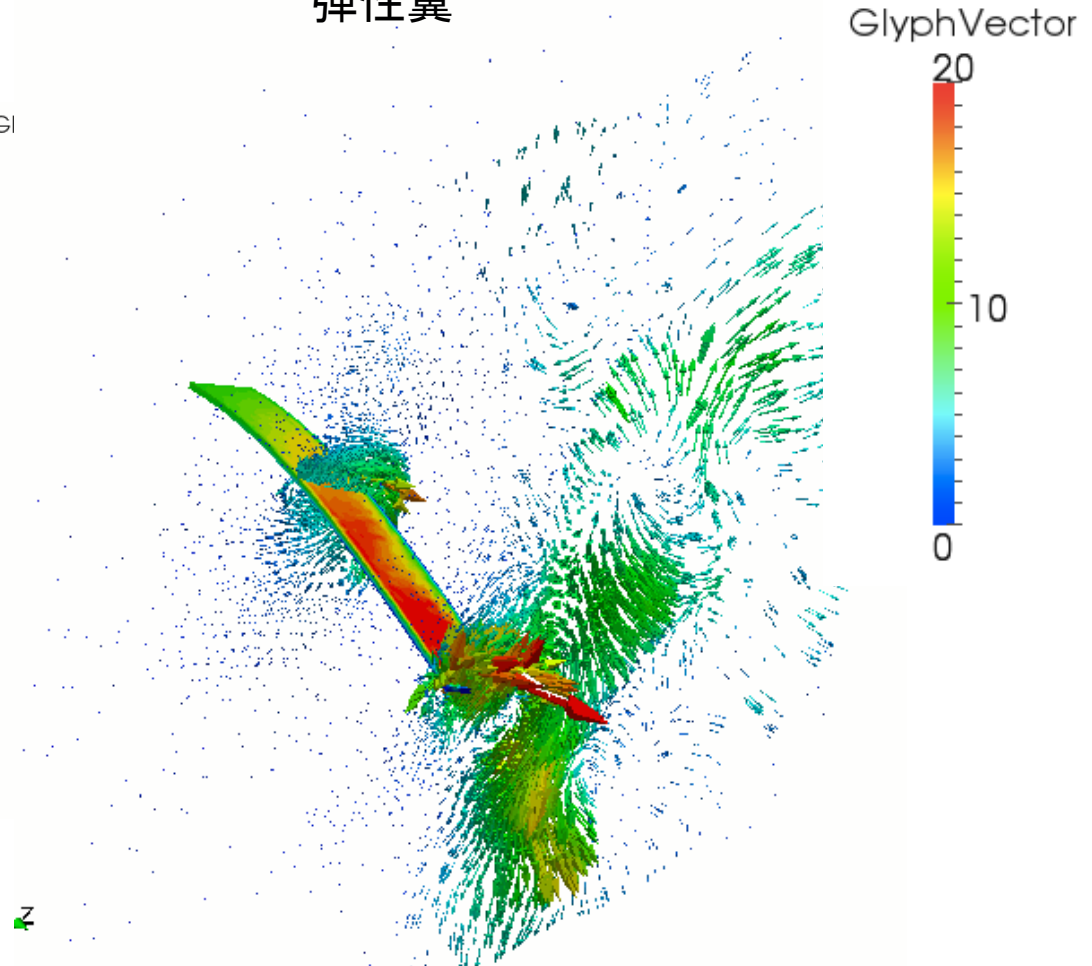
剛体翼 vs 弾性翼

Flapping angle : 30 deg
Feathering angle : 30 deg
Phase difference : 60 deg

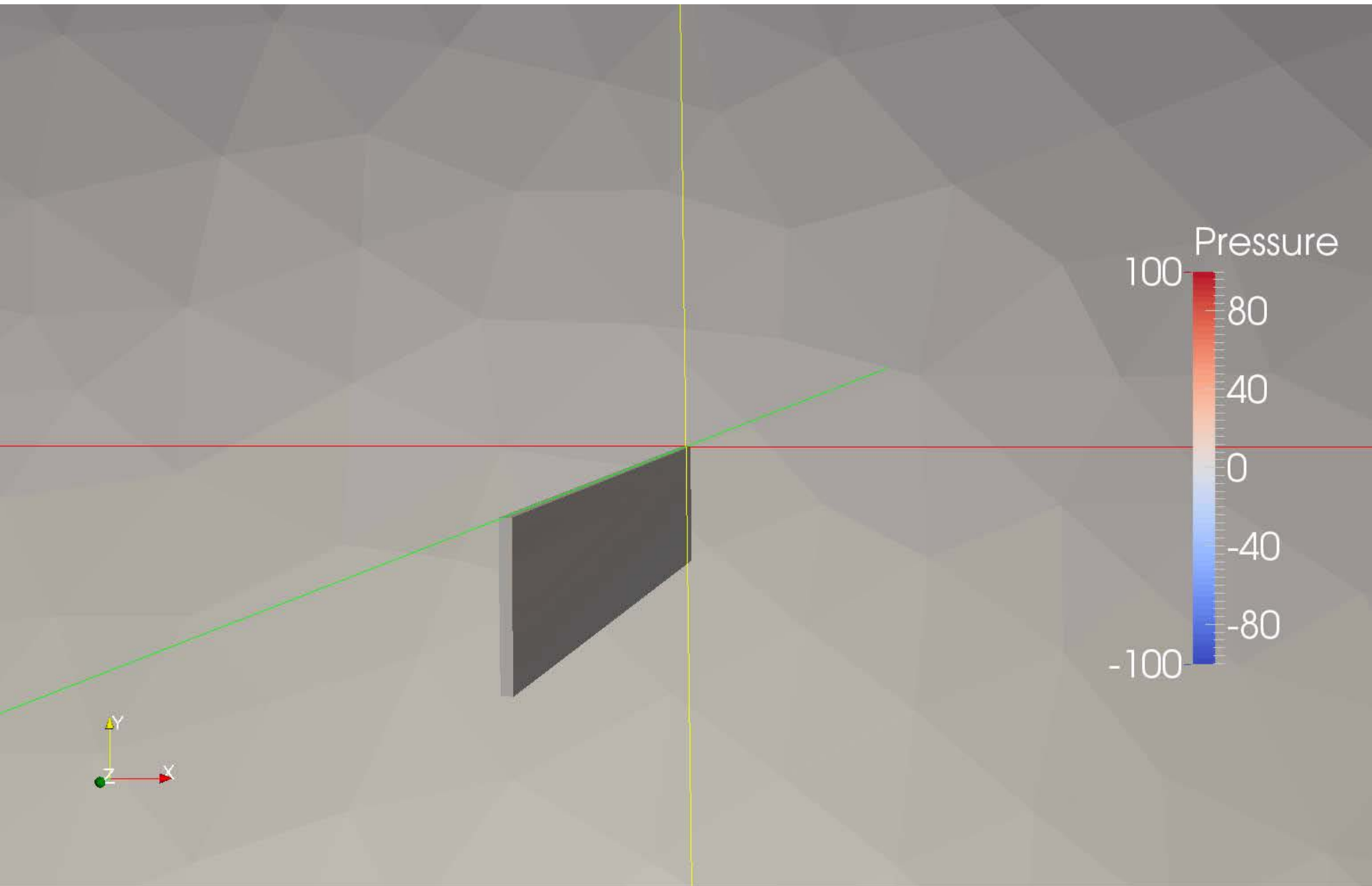
剛体翼



弾性翼



$c=0.02$, $\theta = 60\text{deg}$



2017/5/1



日本機械学会・東日本大震災調査・提言分科会

WG2

力学体系に基づく津波被害のメカニズム理解

WG2主査：吉村忍

東京大学大学院工学系研究科

調査内容

調査対象: 津波による機器・機械設備
の複合的な破壊メカニズム

調査内容:

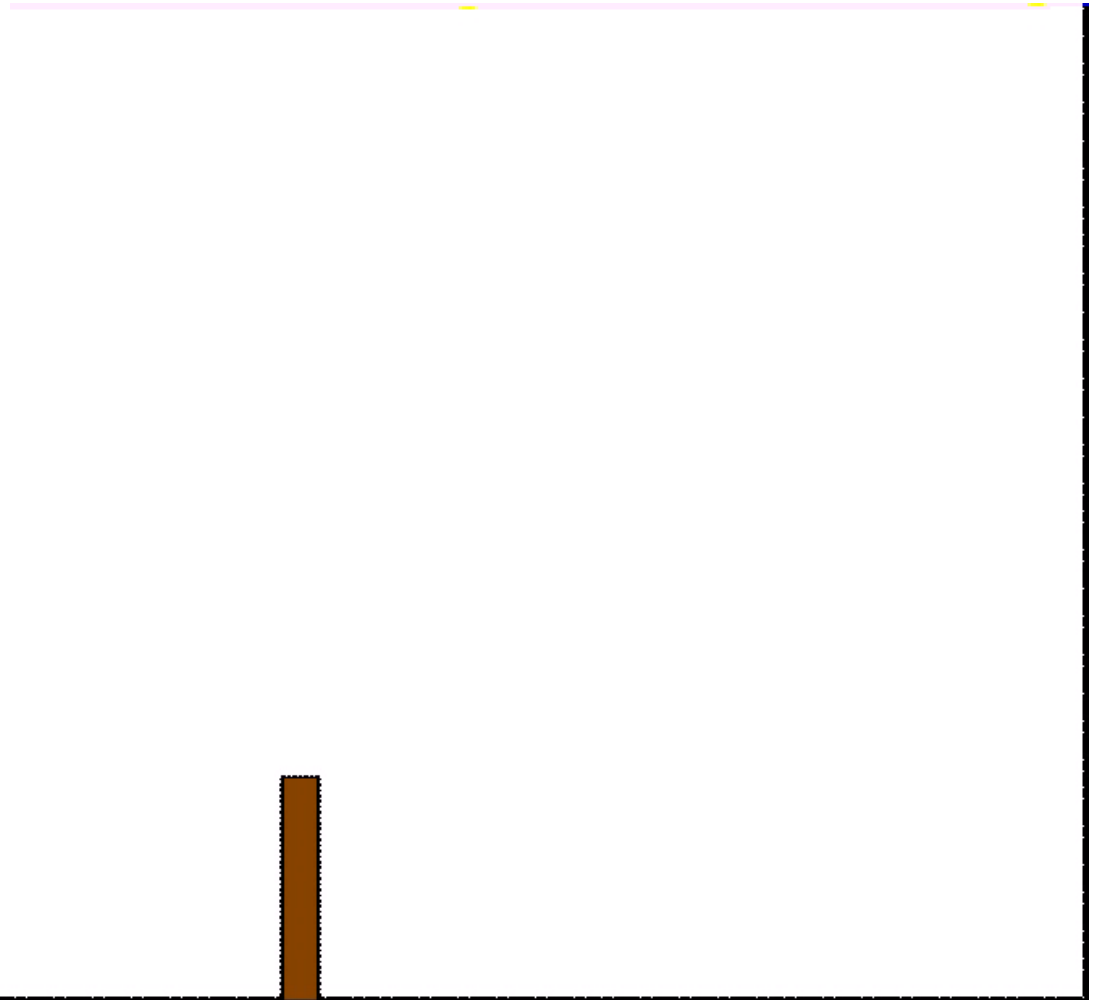
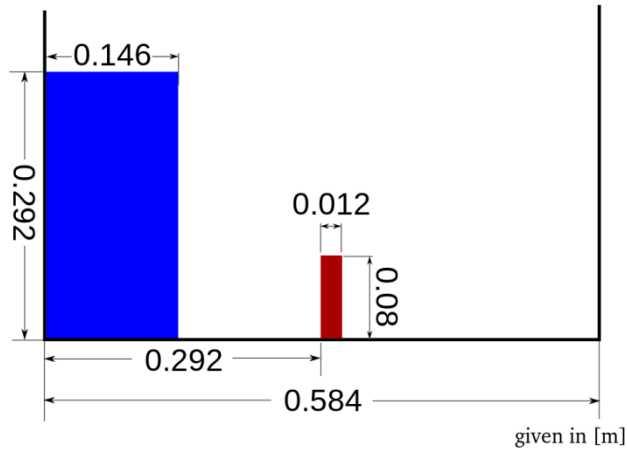
震源から押し寄せる津波のみを見るのではなく、**土木・建築構造物**、**機器・機械設備類**が破損し、機能を喪失するという観点から、津波による破壊メカニズムを俯瞰的に理解する

調査・検討方法:

記録された膨大な映像情報等の調査、WGメンバーによる個別現地調査、シミュレーション研究等の成果をもとに、総合的に検討

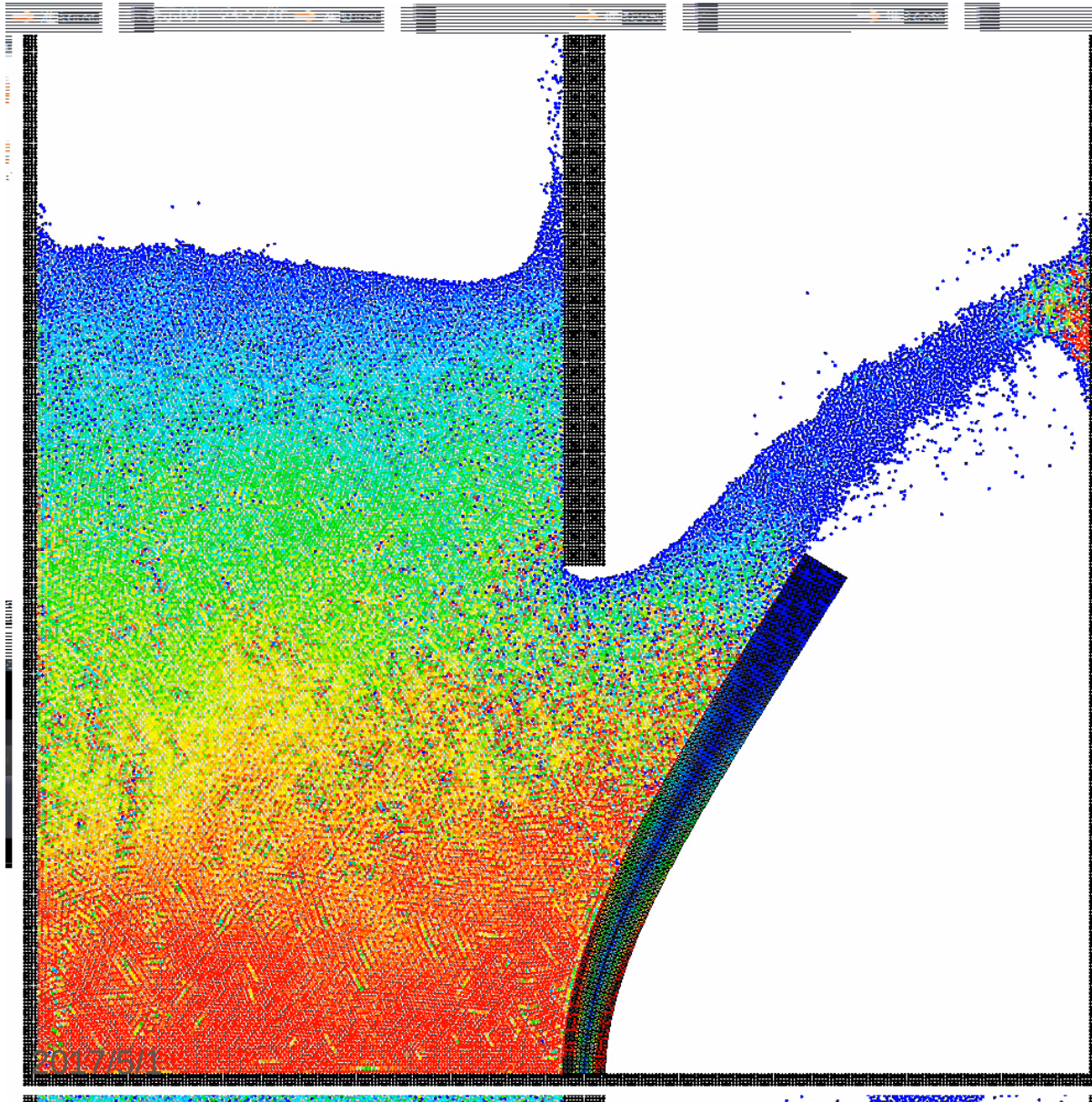


弾性体障壁へのダムブレイクした 水の衝突解析



2017/5/1

建物への水の侵入解析



UTokyo Online Education

学術俯瞰講義 2017 吉村忍

CC BY-NC-ND

工学部、工学系研究科における 材料力学関連講義の例



- 構造の力学、材料の力学、計算力学 ([社会基盤学科](#))
- 建築構造解析第一、荷重外力論、建築弾性学、建築塑性学、建築材料科学、建築材料演習、建築構造演習、建築基礎構造、溶接工学、建築耐震構造、鉄骨構造、鉄筋コンクリート構造、鉄骨構造演習、鉄筋コンクリート構造演習 ([建築学科](#))
- 基礎材料力学、材料力学演習B、航空機構造力学第一、航空機構造力学第二、弾性力学第一、弾性力学第二、航空宇宙材料、航空宇宙構造力学 ([航空宇宙学科](#))
- 変形体の力学 ([物理工学科](#)・[計数工学科](#))
- 材料力学B第一、材料力学B第二、有限要素法 ([機械系](#))
- 構造力学 (精密工学科、システム創成学科)、連続系の科学、固体力学、システムモデリングII、離散系の科学、シミュレーション工学、ハイパフォーマンスコンピューティング ([システム創成学科](#))
- マテリアル力学I、マテリアル信頼性学、マテリアル力学II、マテリアル強度学、マテリアル力学及び演習 ([マテリアル工学科](#))

- 計算力学E、構造設計特論E、鉄筋コンクリートの非線形力学E、計算地震工学E([社会基盤学専攻](#))
- 建築構造・材料設計演習([建築学専攻](#))
- 材料力学特論、複合材料工学([航空工学専攻](#))
- 弾性学特論、破壊強度学、マルチスケール計算材料科学、数値構造設計学、結晶・塑性学、機械系数値解析法([機械工学専攻](#))
- 先端材料・構造設計論、先進構造システム管理学、構造設計解析工学([システム創成学専攻](#))
- 弾性学特論及び演習、マテリアル強度学S([マテリアル工学専攻](#))
- 原子力構造工学、原子力システム保全学、材料力学／原子力構造力学演習([原子力国際専攻・原子力専攻](#))

材料力学B第一

基礎材料力学

黒字: 学部講義
赤字: 大学院講義

建築構造解析第一

固体力学

計算力学

強度

材料力学演習B
構造の力学
変形体の力学

材料力学B第二

航空機構造力学第一

マテリアル工学I
システムモデリングII

建築基礎構造

建築弾性学

建築材料演習

連続系の科学 弾性力学第二

建築塑性学

航空機構造力学第二

航空宇宙構造力学

構造力学

弾性力学第一

材料の力学

建築構造演習

建築耐震構造 荷重外力論

有限要素法

マテリアル工学及び演習

鉄骨構造

鉄骨構造演習

建築材料科学

計算力学

マテリアル強度学

溶接工学

離散系の科学

弾性学特論及び演習

マテリアル信頼性学 鉄筋コンクリート構造演習

シミュレーション工学

材料力学特論

構造設計解析工学

航空宇宙材料 鉄筋コンクリート構造

ハイパフォーマンス
コンピューティング

数値構造設計学

原子力構造工学

マテリアル強度学S 先端材料・構造設計論

弾性学特論 結晶・塑性学

破壊強度学

計算力学E

材料力学／原子力構造力学演習

鉄筋コンクリートの非線形力学E

計算地震工学E

構造設計特論E

複合材料工学

機械系数値解析法

先進構造システム管理学

様々な構造・材料

マルチスケール計算材料科学

建築構造・材料設計演習

2017/5/1

設計・運用

原子力システム保全学



既設講義と工学教程・材料力学の位置づけ

黒字: 学部講義
赤字: 大学院講義

材料力学I (共通基礎)

材料力学B第一

基礎材料力学

建築構造解析第一

固体力学

材料力学演習B

計算／シミュレーション

構造の力学

材料力学B第二

航空機構造力学第一

変形体の力学

マテリアル力学I

建築基礎構造

建築弾性学

材料力学II (専門基礎)

システムモデリングII

建築材料演習

強度

連続系の科学 弾性力学第二

建築塑性学

航空機構造力学第二

航空宇宙構造力学

構造力学

弾性力学第一

材料の力学

建築構造演習

建築耐震構造 荷重外力論

有限要素法

マテリアル力学及び演習

鉄骨構造

鉄骨構造演習

建築材料科学

計算力学

マテリアル強度学

溶接工学

離散系の科学

弾性学特論及び演習

材料力学特論

材料力学III (専門)

マテリアル信頼性学 鉄筋コンクリート構造演習

航空宇宙材料 鉄筋コンクリート構造

シミュレーション工学

構造設計解析工学

マテリアル強度学S 先端材料・構造設計論

ハイパフォーマンス

数値構造設計学

弾性学特論 結晶・塑性学

コンピューティング

原子力構造工学

破壊強度学

計算力学E

材料力学／原子力構造力学演習

鉄筋コンクリートの非線形力学E

計算地震工学E

構造設計特論E

複合材料工学

機械系数値解析法

先進構造システム管理学

様々な構造・材料

マルチスケール計算材料科学

建築構造・材料設計演習

設計・運用

原子力システム保全学E

2017/5/1

工学教程・材料力学Iの目次

1. 材料力学とは
2. 材料の変形を表す基本力学量
3. 材料の変形を支配する基礎式(1次元問題)
4. 構造の基本要素と変形
5. 熱荷重と熱応力
6. 材料力学の問題の一般的解法の考え方(1次元問題)
7. 構造設計の考え方

工学教程・材料力学IIの目次

1. 材料力学における知識の構成
 2. 材料の一般的な変形を表す基本力学量
 3. 材料の一般的な変形を支配する基礎式
 4. 固体・流体・気体・熱・連続体の関係
 5. 構造の基本要素と変形
 6. 材料非線形の基礎
 7. 幾何学的非線形の基礎
 8. 熱応力の性質と残留応力
 9. 応力集中
 10. 材料強度論の基礎
 11. 複合材料の基礎
 12. 材料力学の問題の一般的解法の基礎
 13. 構造設計の基礎
- 付録 材料力学におけるベクトルとテンソル

工学教程・材料力学IIIの目次

1. 非線形解析における応力とひずみ
2. 材料非線形
3. 幾何学的非線形
4. 動的状態
5. 非定常熱応力
6. 境界非線形
7. 材料強度論
8. 様々な構造用材料

工学教程編纂の背景(「刊行の趣旨」より)

現代の工学は、**基礎基盤工学**の学問領域と、特定のシステムや対象を取り扱う**総合工学**という学問領域から構成される。

学際領域や**複合領域**は、学問の領域が伝統的な一つの基礎基盤ディシプリンに収まらずに複数の学問領域が融合したり、複合してできる新たな学問領域であり、一度確立した学際領域や複合領域は自立して総合工学として発展していく場合もある。

さらに、**学際化**や**複合化**はいまや**基礎基盤工学**の中でも先端研究においてますます進んでいる。

工学教程編纂の背景（「刊行の趣旨」より）

このような状況は、工学におけるさまざまな課題も生み出している。総合工学における研究対象は次第に大きくなり、経済、医学や社会とも連携して**巨大複雑系社会システム**まで発展し、その結果、内包する学問領域が大きくなり研究分野として自己完結する傾向から、**基礎基盤工学との連携が疎かになる傾向**がある。**基礎基盤工学においては、限られた時間の中で、伝統的なディシプリンに立脚した確固たる工学教育と、急速に学際化と複合化を続ける先端工学研究をいかにしてつないでいくか**という課題は、世界のトップ工学校に共通した教育課題といえる。



工学教程編纂の背景(「刊行の趣旨」より)

現代の工学を取り巻く状況を踏まえ、東京大学工学部・工学系研究科は、工学の基礎基盤を整え、科学技術先進国のトップの工学部・工学系研究科として学生が学び、かつ教員が教授するための指標を確固たるものとすることを目的として、**時代に左右されない工学基礎知識を体系的に本工学教程としてとりまとめた。**

本工学教程は、**東京大学工学部・工学系研究科のディシプリンの提示と教授指針の明示化**であり、基礎(2年生後半から3年生を対象)、専門基礎(4年生から大学院修士課程を対象)、専門(大学院修士課程を対象)から構成される。したがって、工学教程は、博士課程教育の基盤形成に必要な工学知の徹底教育の指針でもある。

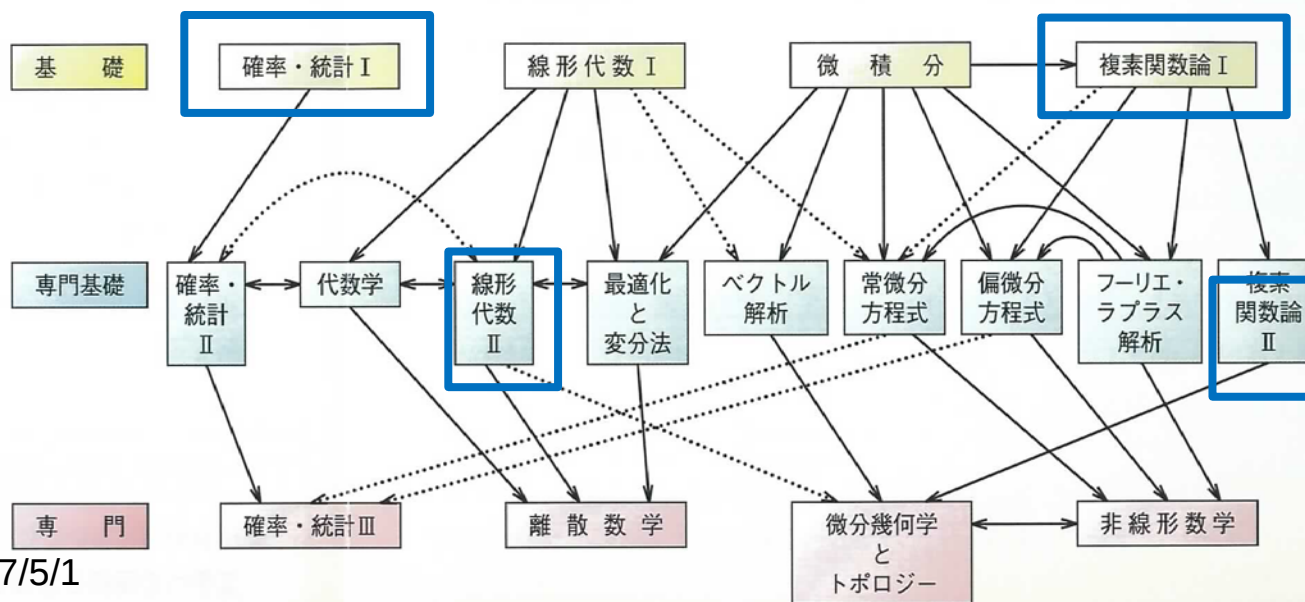
工学教程の編纂とその英語化 CEF

- 時代に左右されない工学知の教授方針
- 学生が習得すべき内容を明記し、学生自身が学すべき全体像の見通しがきくようにする
- 工学部・工学系研究科のスタンダードとして、教員が学生を指導すべき内容も具体的に示す
- 従来型の「分かりやすい教科書」や実務家向けの教科書とは一線を画す



数学分野17巻の構成

英語版刊行済



2017/5/1



(1) 基礎系 数学

確率統計I、線形代数I、微積分、複素関数論I

確率統計II、代数学、線形代数II、最適化と変分法、ベクトル解析、
常微分方程式、偏微分方程式、フーリエ・ラプラス解析、
複素関数論II、確率統計III、離散数学、微分幾何学とトポロジー、
非線形数学

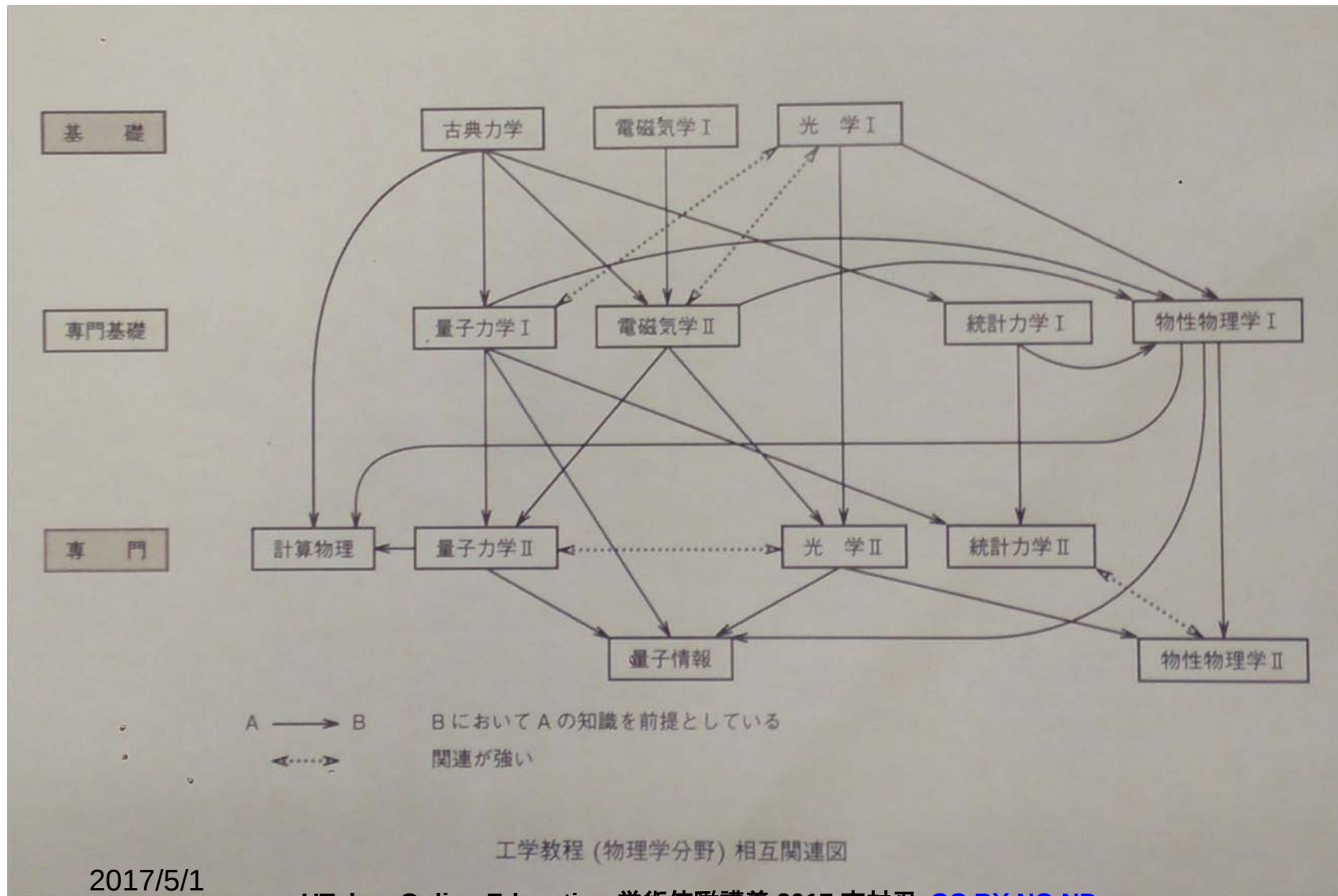
(2) 基礎系 物理学

古典力学、電磁気学I・II、光学I・II、量子力学I・II、統計力学I・II、
量子情報、物性物理学I・II、計算物理

(3) 基礎系 化学

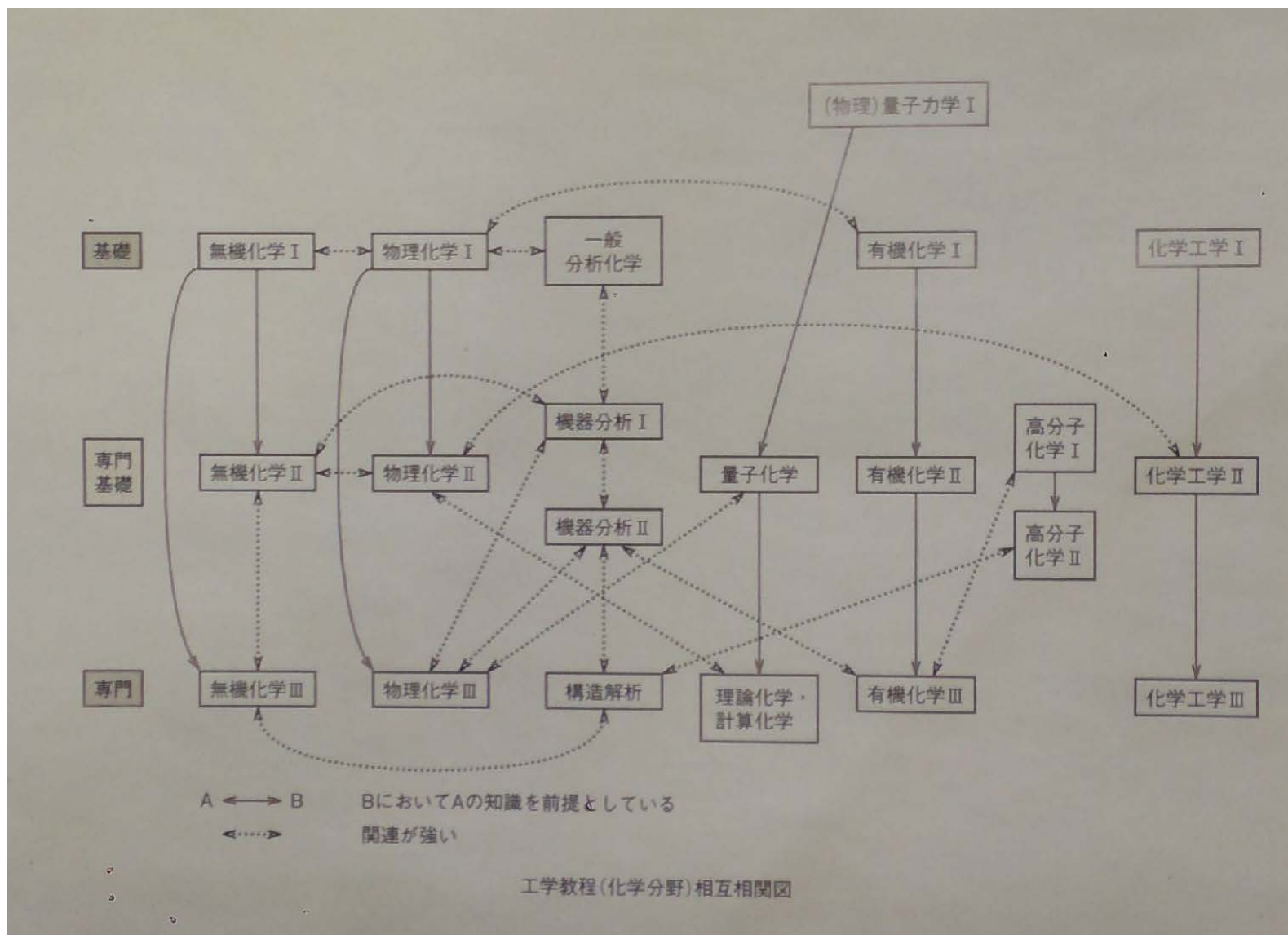
物理化学I(物理化学基礎)・II(化学反応論)・III、高分子化学I・II、
有機化学I・II・III、無機化学I・II・III、分析化学I(一般分析化学)・
II(機器分析I)・III(機器分析II)・IV(構造解析)、化学工学I・II・III、
量子化学、理論化学・計算化学

工学教程・物理学分野の相互関連



2017/5/1

工学教程・化学分野の相互関連図



(4) 他の分野(各分野で数冊から十数冊程度)

材料力学・構造力学
流体力学
熱工学
機械力学・振動・波動
設計・設計工学
計測・制御工学
熱機関・原動機学
マテリアル工学
電気電子工学
情報工学
建設系工学

航空機・宇宙工学
自動車工学
船舶工学
資源工学
原子力工学
生産工学
生体医工学
ロボット工学
システム工学
経済・知財・経営工学
安全学・リスク工学・信頼性工学
数値解析・シミュレーション・計算科学
技術倫理
技術英語
実験学

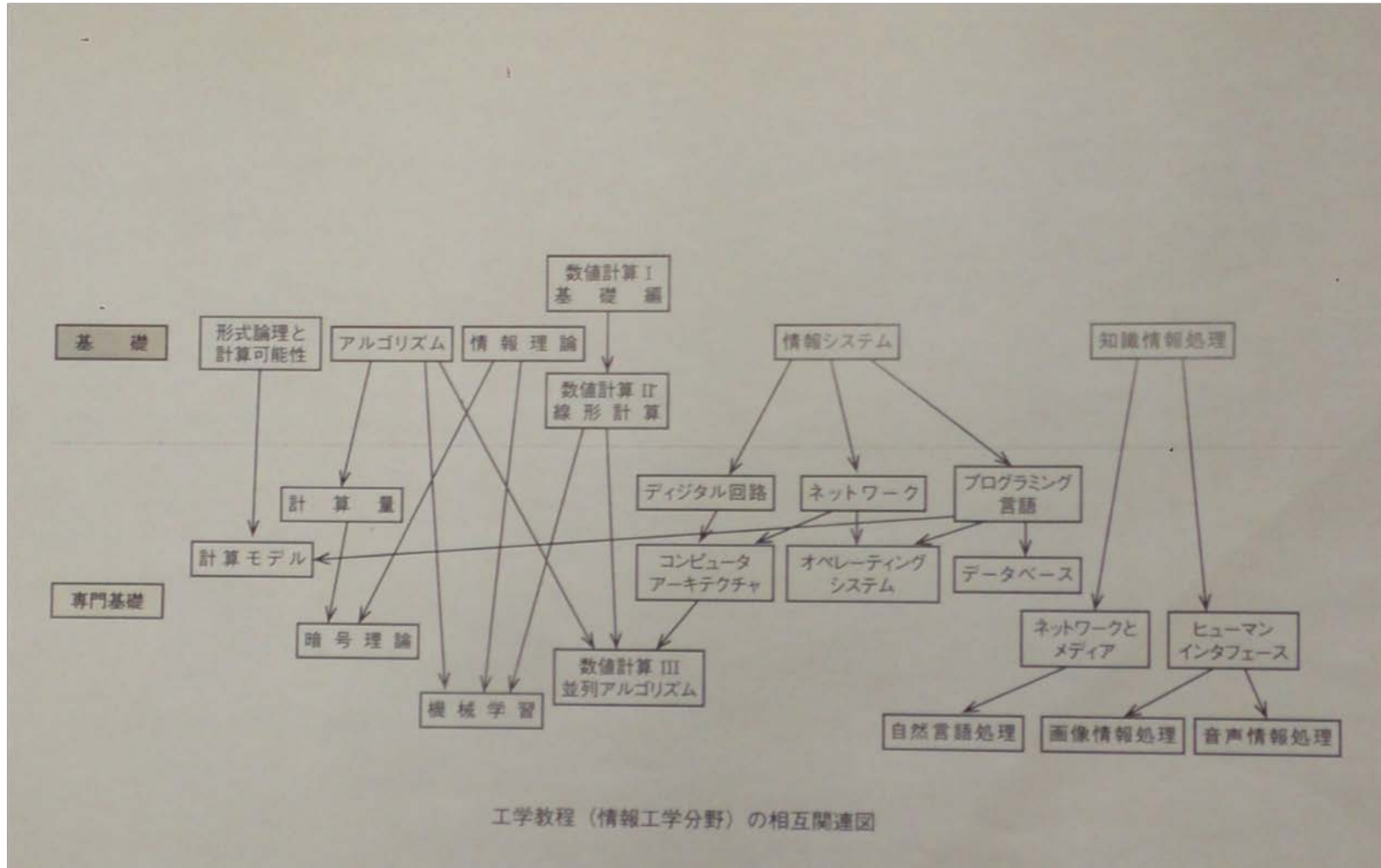


工学教程の構成案

50～70科目 × (基礎、専門基礎、専門の3巻構成) = 合計 約170巻)

領域 ／科目		← 工学部共通				専門領域性→		
		基礎数学	基礎系工学		基盤系工学	建設系工学	総合工学	
		数 学	物理学	化 学	材料科学	機械系工学	電気電子系工学	建設系工学 ・・・
基礎	2 年	線型代数I 微積分 複素関数論I 確率・統計I	・・・	物理化学I 分析化学I 有機化学I 無機化学I 化学工学I 高分子化学I	・・・	材料力学I 機械力学I 熱工学I 流体力学I	・・・	・・・
	3 年	線型代数II フーリエ・ラプラス解析 ベクトル解析 代数学 常微分方程式 偏微分方程式 最適化と変分法 複素関数論II 確率・統計II	・・・	物理化学II 分析化学II 有機化学II 無機化学II 量子化学 化学工学II 高分子化学II	・・・	材料力学II 機械力学II 熱工学II 流体力学II	・・・	・・・
専門基礎	4 年	離散数学 微分幾何学とトポロジー 非線形数学 確率・統計III	・・・	物理化学III 分析化学III・IV 有機化学III 無機化学III 化学工学III 理論化学・計算化学	・・・	材料力学III 機械力学III 熱工学III 流体力学III	・・・	・・・
専門	修士	2017/5/1						

工学教程・情報工学分野の相互関連



工学教程に期待される効用

1. 工学教程の全巻構成を示すことによって、各自の分野で身につけておくべき学問が何であり、次にどのような内容を学ぶことになるのか、基礎科目と自身の分野との間で学んでおくべき内容は何かなど、学ぶべき全体像を見通せるようになる。
2. 東京大学工学部・工学系研究科のスタンダードとして何を教えるか、学生は何を知っておくべきかを示し、教育の根幹を作り上げる。
3. 専門が進んでいくと改めて、新しい基礎科目の勉強が必要になることがある。そのときに立ち戻ることができる教科書になる。
4. 基礎科目においても、工学部的な視点による解説を盛り込むことにより、常に工学への展開を意識した基礎科目の学習が可能となる。

2017/5/1