

高温・多軸応力環境における 機械構造用金属材料の特性評価

福井大学 学術研究院 工学系部門工学領域
機械工学講座 准教授 旭吉 雅健

① 課題(ニーズ)

構造物の安全設計や健全性保障，余寿命評価のためには対象となる構造材料の各種の特性を正確に把握することが重要である。

金属材料の評価試験として主に引張試験が用いられるが同試験で得られる材料特性は，引張強度や破断伸び，ヤング率等の静的な機械的性質に限られる。

実構造物では負荷が時間とともに変化することによって**疲労**現象を生じたり，構造部品は形状不連続を有していることから応力集中や**多軸応力**も生じる。また，**高温環境**では室温と異なる材料特性を示す。

本課題では，**実機を想定した高温・多軸応力環境での材料特性**を評価する。具体的には，疲労およびクリープに着目して実験力学的に解明する。

② キーワード

【1】疲労

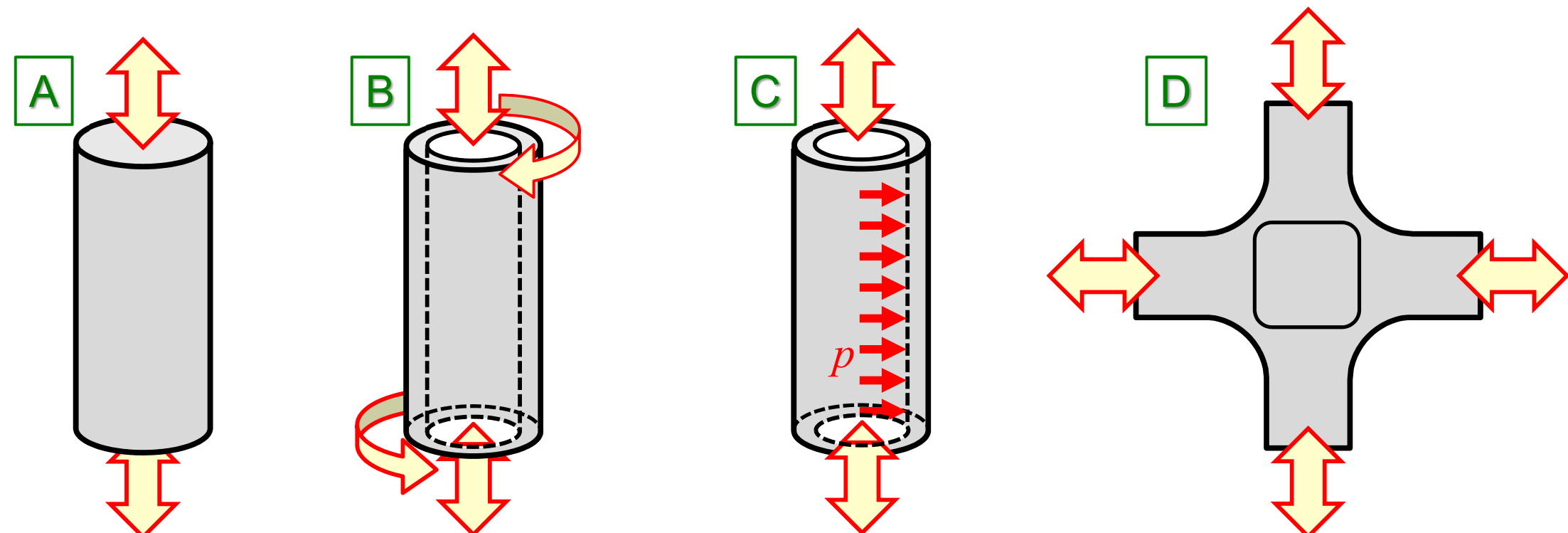
低応力であっても，それが多数回負荷されると材料が損傷したり，き裂の発生進展によって破損する。塑性変形を伴う低サイクル疲労と弾性変形が主の高サイクル疲労等がある。繰返し数依存型の損傷である。

【2】クリープ

室温では問題にならない応力であっても，材料融点の約2分の1以上の温度域では，長時間使用中に材料のひずみを生じて最終的には破断に至ることもある。時間依存型の損傷である。

【3】多軸応力

単純丸棒試験片の引張り負荷以外はすべてが多軸応力である。構造物のほとんどが多軸応力状態であることから多軸試験が不可欠であるものの，市販装置のほとんどは単軸負荷仕様である。



- (A) 丸棒軸負荷（単軸）
(B) 中空円筒試験片を用いた引張・ねじり負荷（研究室のシーズ）
(C) 中空円筒試験片を用いた引張＋内外圧負荷（共同研究でのシーズ）
(D) 十字型試験片を用いた二軸負荷（研究室のシーズ）

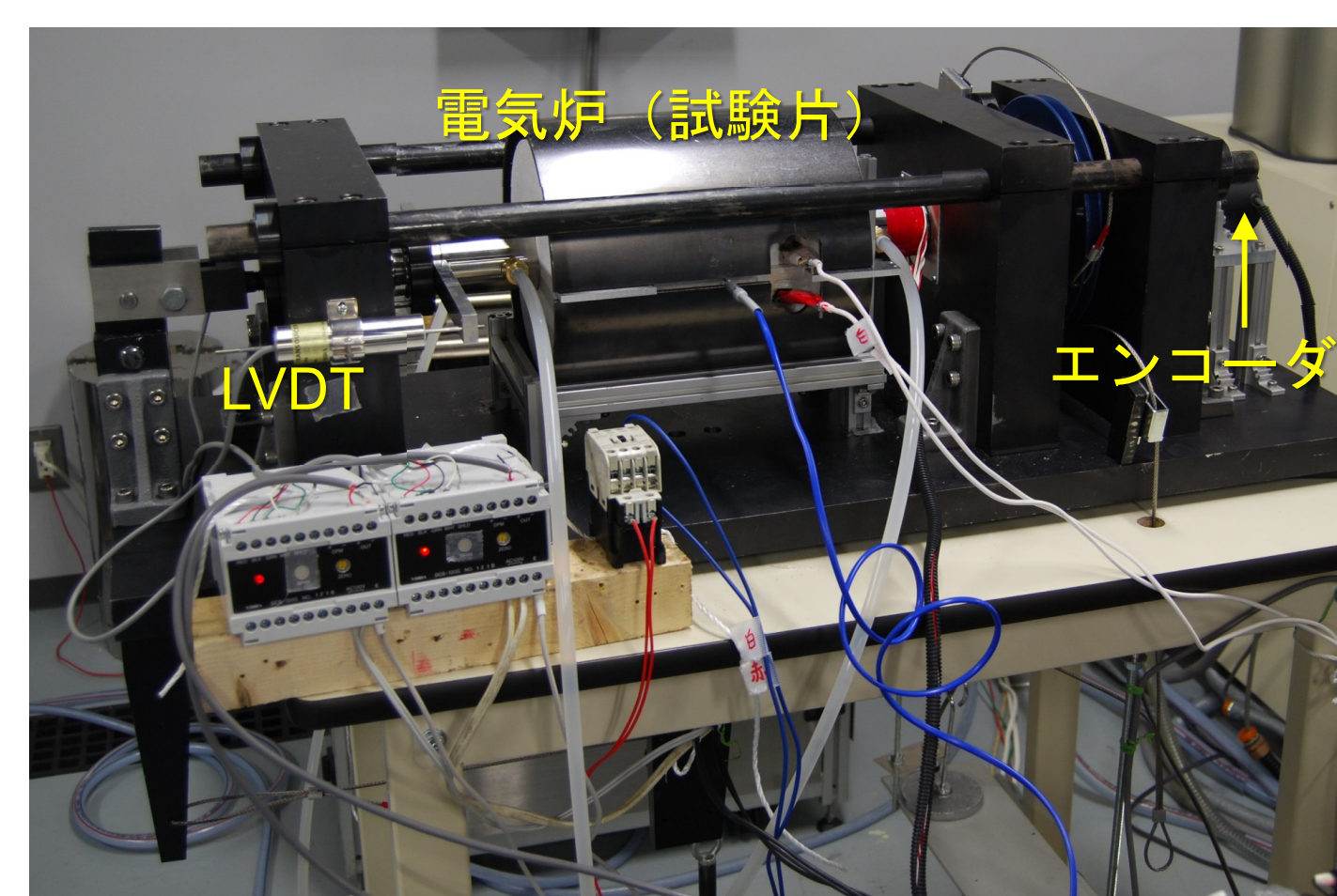
多軸応力試験の手法（例）

③ 成果(シーズ)

■引張－ねじり型装置を用いた多軸クリープ寿命評価

【③－1】設計開発した試験装置

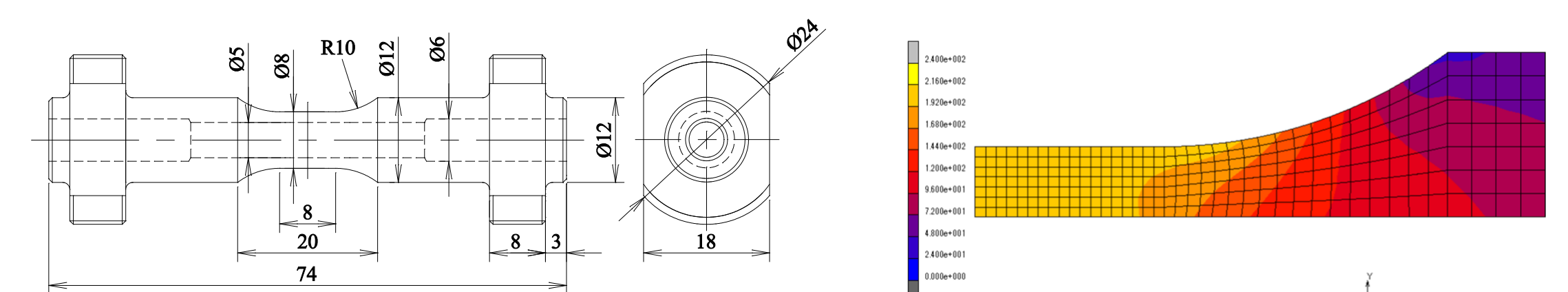
軸荷重とねじりトルクを重畳負荷できる高温多軸クリープ装置を設計開発した。主応力比※ $-1.0 \leq \lambda \leq 0.0$ のクリープ破断寿命および特性検証を可能とした。



※主応力比とは...
多軸応力度合いを表すパラメータ

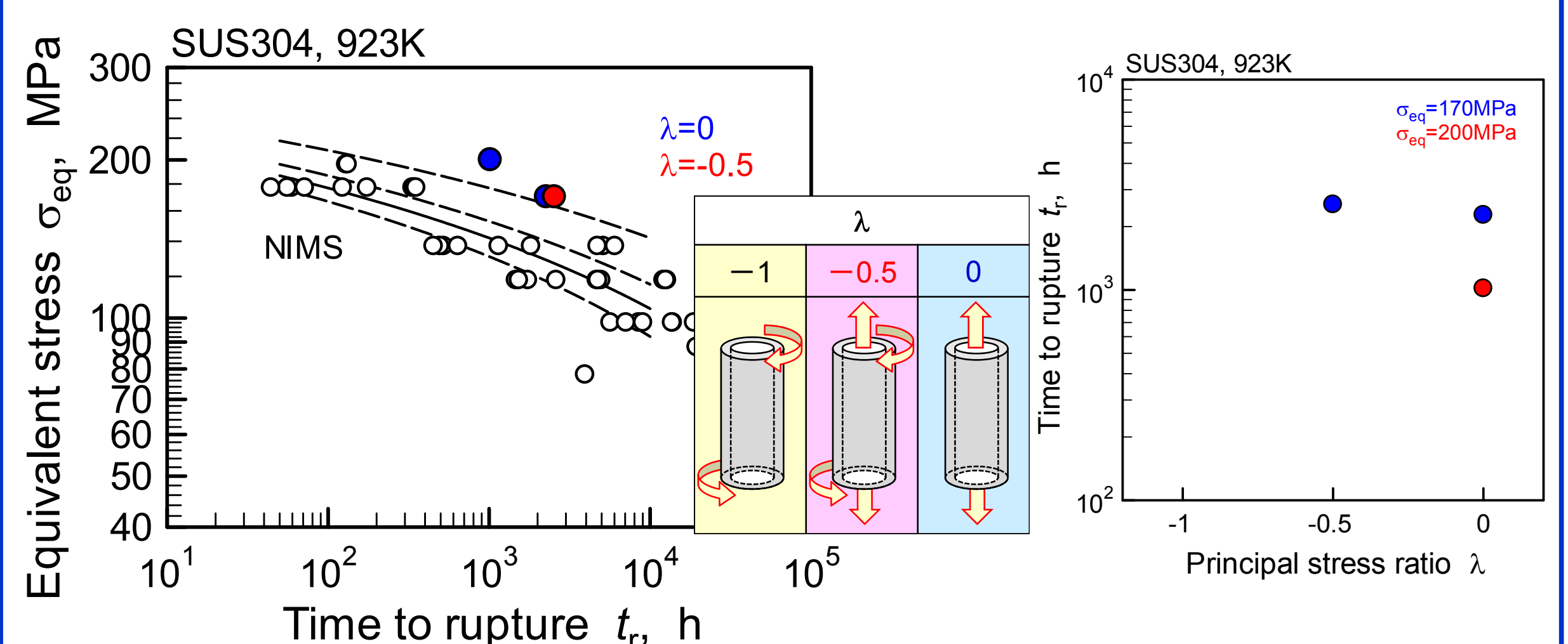
仕様
最高温度 : 700℃
軸荷重 : 6kN
ねじりトルク : 12Nm

引張・ねじり型多軸クリープ試験装置の外観



引張・ねじり型多軸クリープ試験片とその設計解析例

【③－2】途中成果（クリープ寿命）



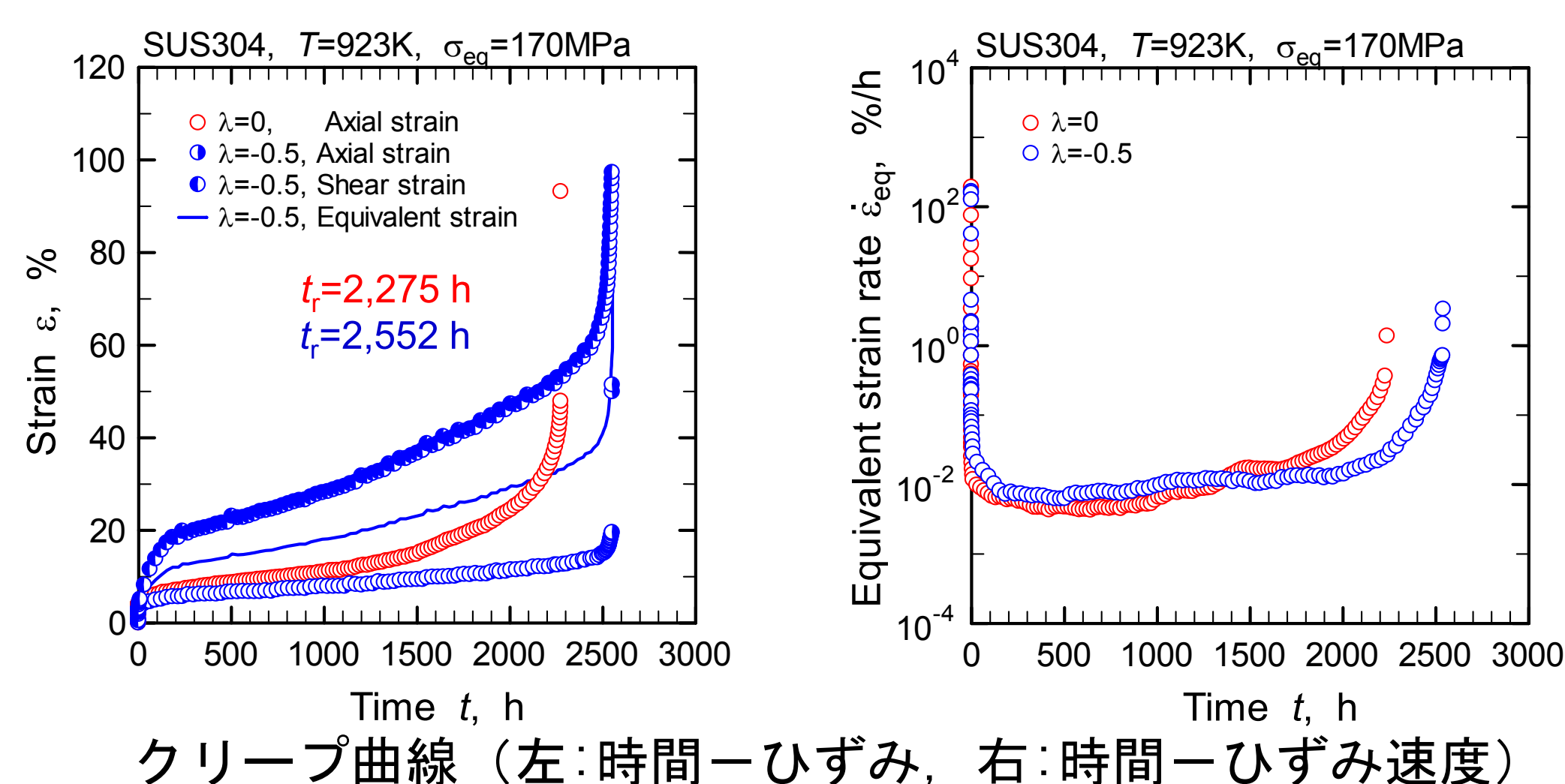
クリープ破断寿命（応力－破断時間）

これまでにオーステナイト系ステンレス鋼を対象として，試験温度923K（650℃），相当応力 $\sigma_{eq} = 170\text{MPa}$ の $\lambda=0$ および $\lambda=-0.5$ のクリープ破断試験を完了した。

破断寿命は， $\lambda=0$ で2275時間， $\lambda=-0.5$ で2552時間であり，単軸 $\lambda=0$ に比べて多軸 $\lambda=-0.5$ がやや長寿命となる傾向があるものの，顕著な寿命差はみられない。引き続き $\lambda=-1.0$ での多軸クリープ試験や他の応力レベル，温度環境での検証も行い，クリープ破断寿命に及ぼす応力多軸度等の影響を定量的に検証する。

③ 成果（つづき）

【③ - 3】クリープ特性

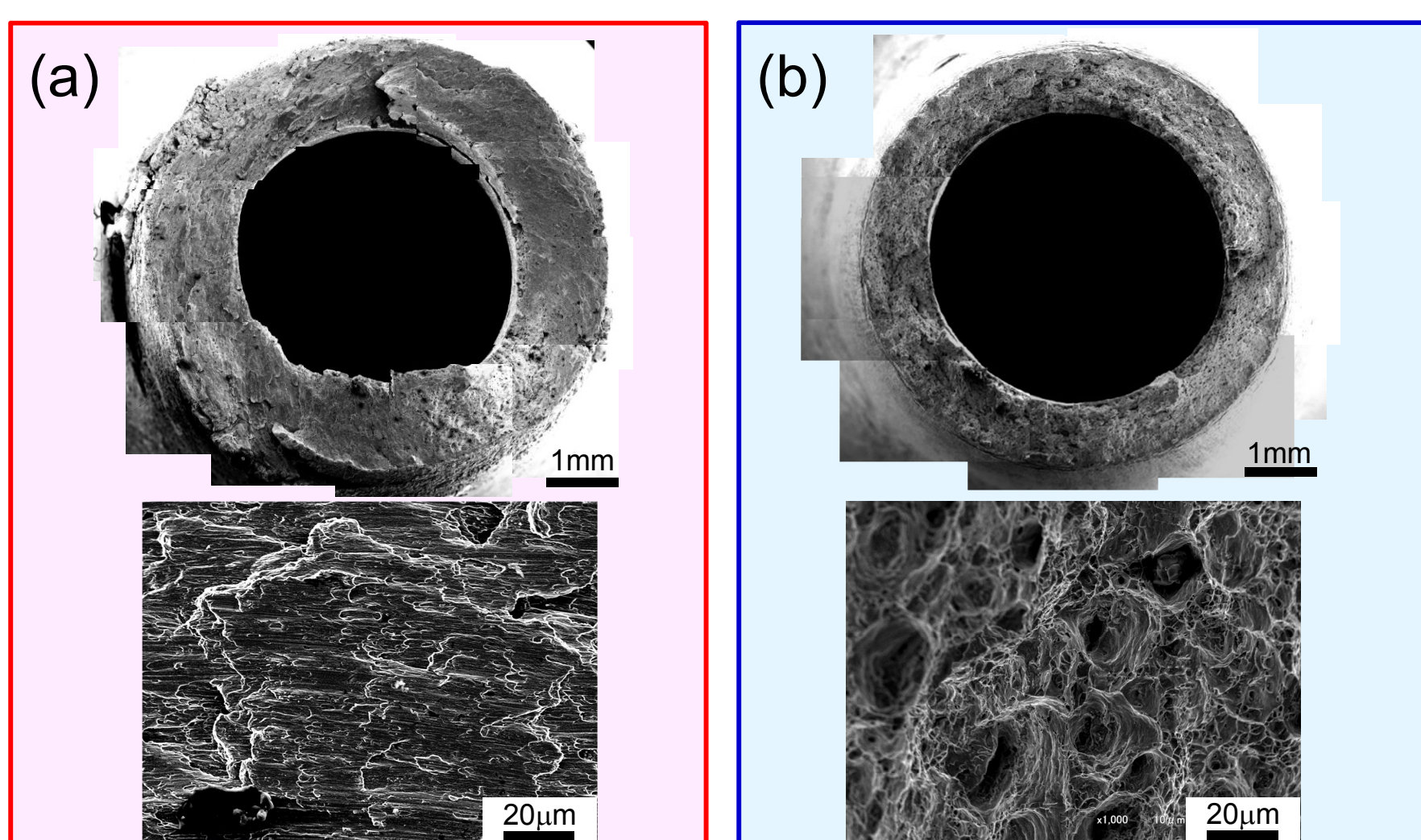
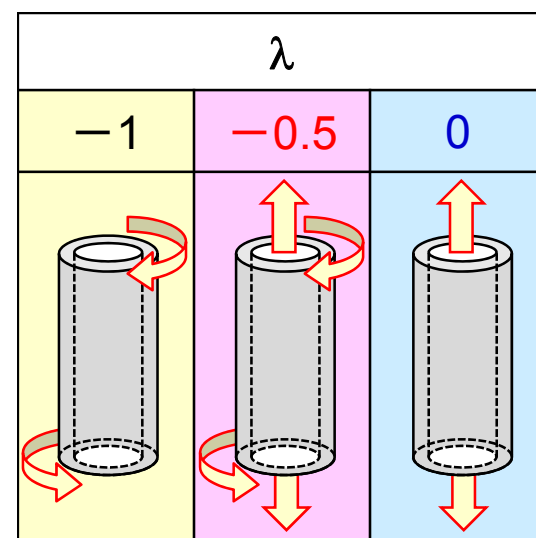
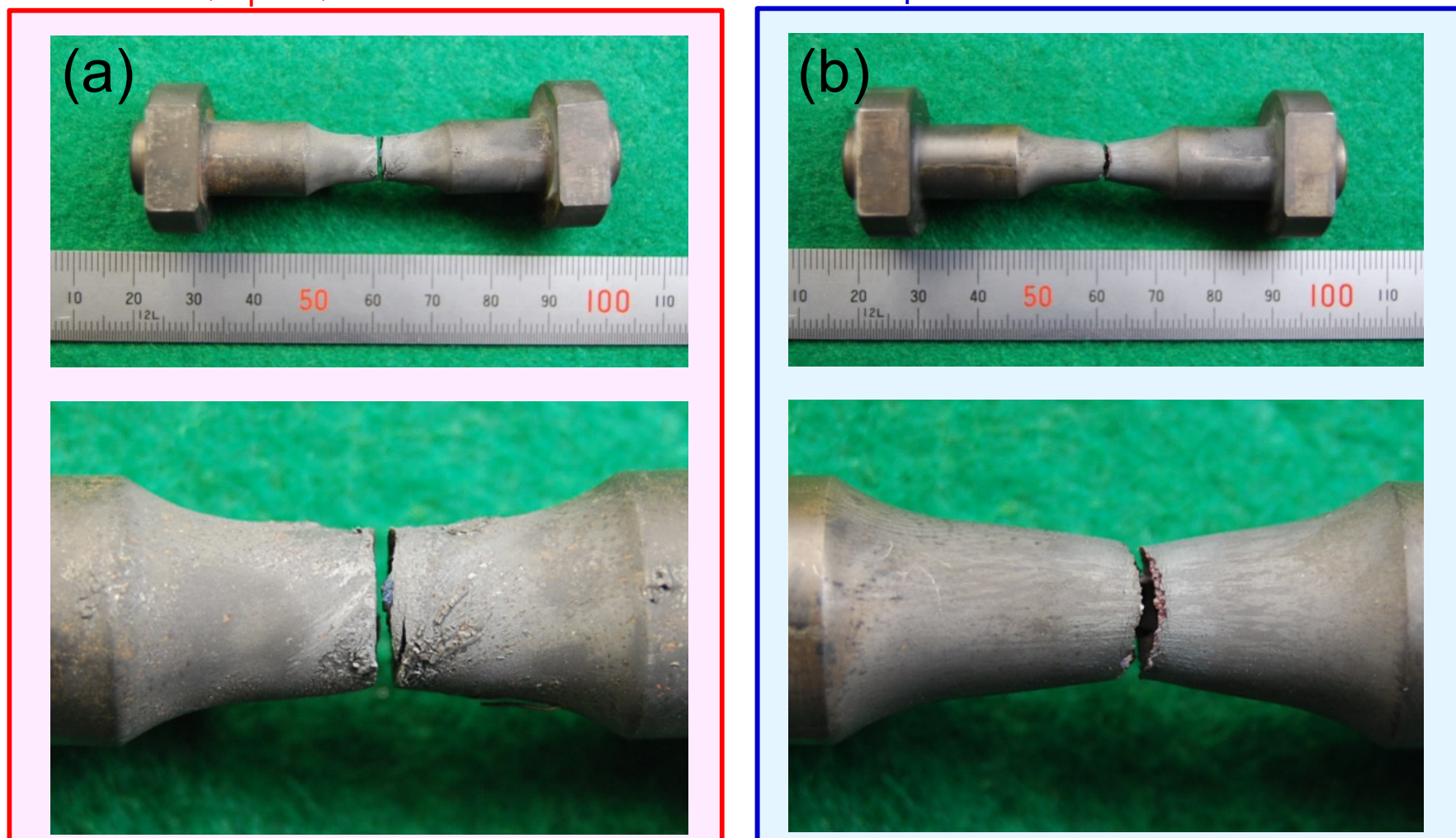


左図中の○は $\lambda=0$ での軸ひずみを示している。 $\lambda=-0.5$ については、軸ひずみおよびせん断ひずみの結果に併せて算出した相当ひずみもプロットした。いずれの試験においても、試験初期から破断までの試験片の軸方向変位とねじれ角を計測できている。

$\lambda=-0.5$ の破断直前のねじれ角は約2.6 radであり、そのせん断ひずみは100%を示す。

$\lambda=-0.5, t_2=2,552 \text{ h}$

$\lambda=0, t_1=2,275 \text{ h}$



破断後の試験片（上：全体と標点部，下：破断面の電子顕微鏡観察）

（上）(a) $\lambda=-0.5$ では、標点部が一方方向にねじられた痕が巨視的にも観察される。(b) $\lambda=0$ では、標点部の軸方向への延性的な変形がみられる。

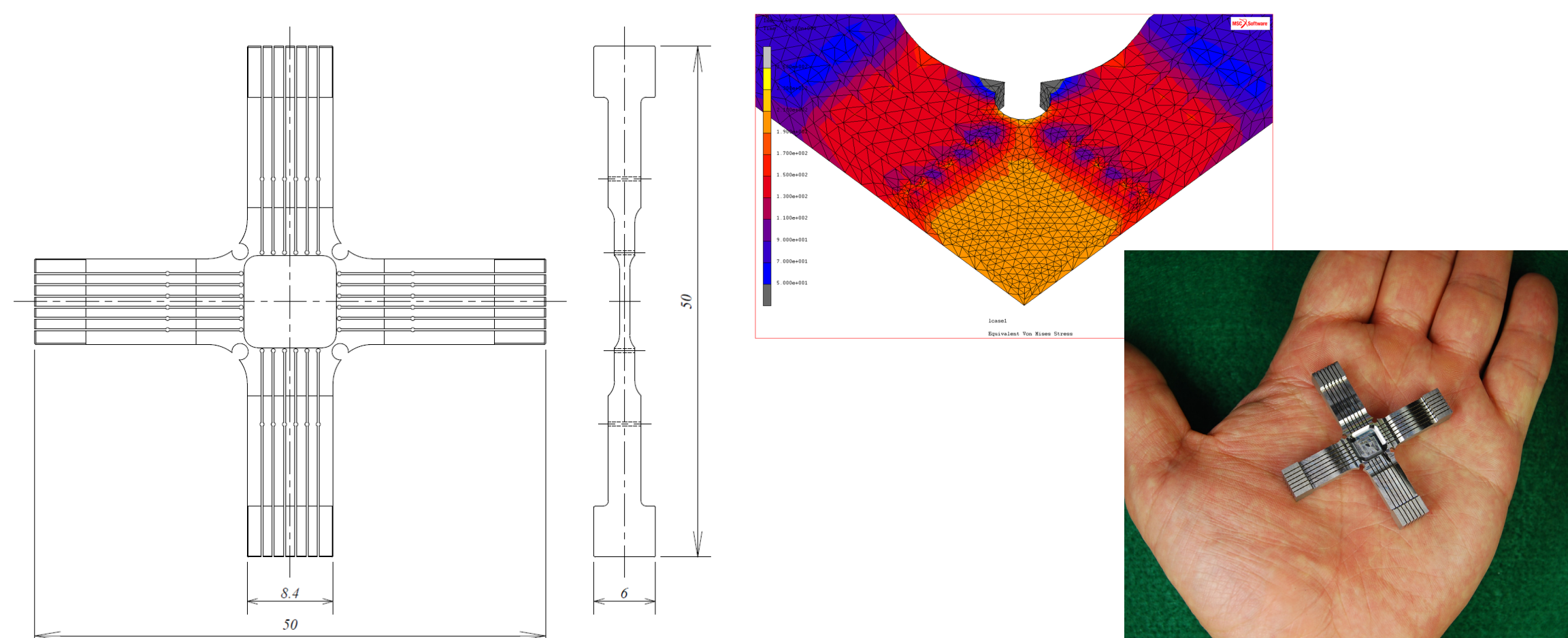
（下）(a)の $\lambda=-0.5$ では、断面積の著しい減少はみられない。(b) $\lambda=0$ では、試験片標点部の軸方向の伸びによって断面積が減少した様子が観察される。延性変形によるディンプルが多数観察される。

【知的財産権】

・特許第5804469号
「多軸負荷試験装置及び方法」

③ 成果（別シーズ）

■十字型試験片を用いた多軸クリープ寿命評価 設計開発のコンセプト



十字型多軸クリープ試験片の設計解析例と加工トライ結果

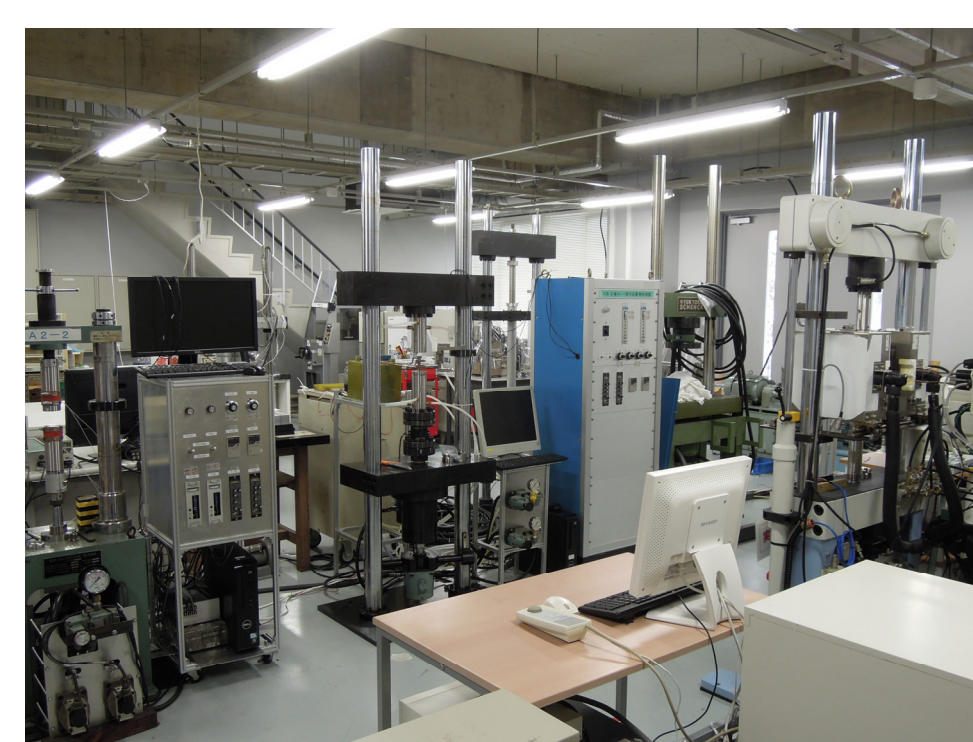
十字型形状試験片を用いたミニチュア二軸引張型多軸クリープ試験手法およびその試験装置を開発中である。

主応力比 $0.0 \leq \lambda \leq +1.0$ のクリープ破断寿命や特性検証を可能とする。さらに試験片サイズが小型であることから、実機の任意局所位置から採取した微小素材を用いた強度特性評価も可能とする。材料損傷の定量評価や余寿命評価法の高精度化に寄与できる。

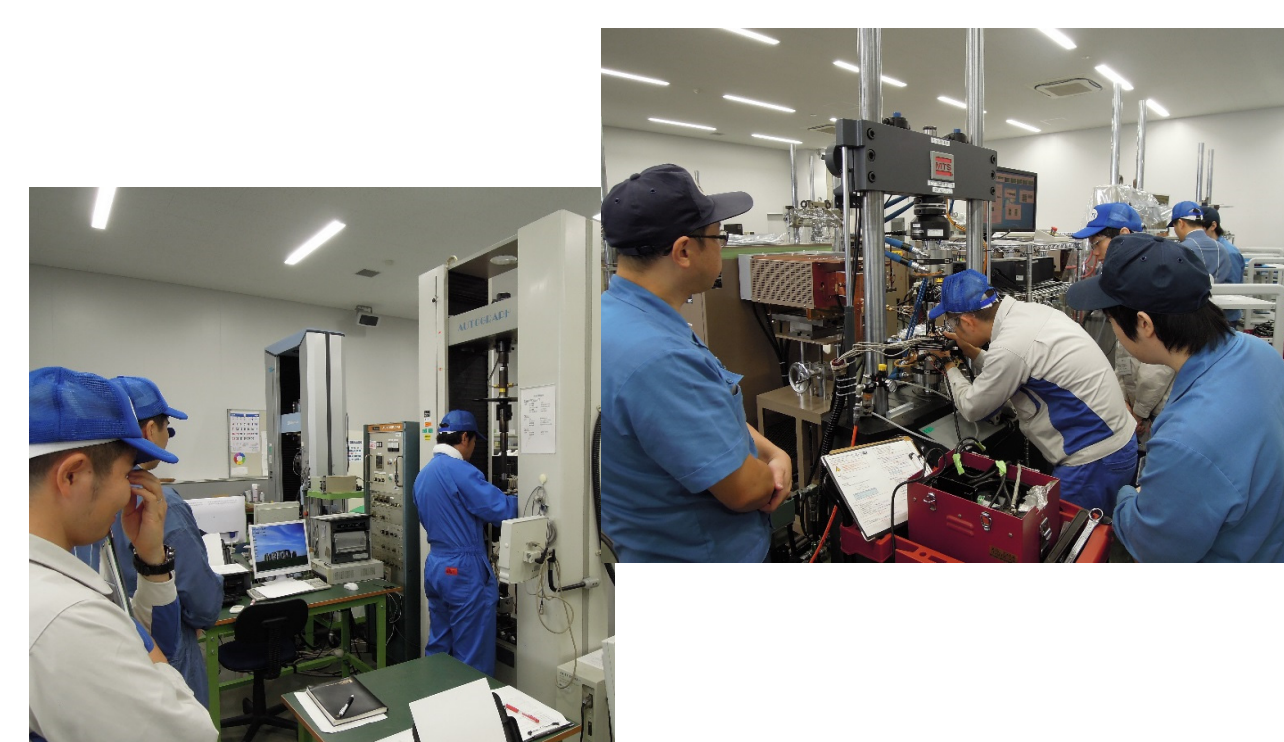
④ 研究室の特色

構造材料の寿命評価式の高精度化のためには、**実機環境をより正確に模擬した実験**を行い、寿命データの取得とともに、材料の変形挙動やき裂の発生・進展過程を詳細に解析することが必要である。

当研究室では、**産業ニーズに応える学術研究**を目指して実験力学研究に取り組んでいる。とくに市販されていない試験装置を用いる必要もあることからニーズに応じたユニークな試験装置開発のシーズも有している。



実験室の様子



学協会主催の技術研修会への学生参加



福井大学 学術研究院
工学系部門工学領域 機械工学講座
准教授

旭吉 雅健 ひよしのりたけ

✉ hiyoshin@u-fukui.ac.jp



【連絡先】

福井大学 産学官連携本部

知的財産・技術移転部 中山 淑恵
TEL: 0776-27-9725 FAX: 0776-27-9727
E-mail: titeki@ad.u-fukui.ac.jp

新人育成支援システム～大学病院で実証～

Education-supporting system for human resources in the future; proved in academic medical hospital

福井大学 医学部
教育支援センター 准教授 坂井 豊彦

■ 大学病院での実証:臨床教育支援システム(CESS)の開発と運用

日本の医学教育にグローバル化の波が押し寄せてきている

文部科学省は医学教育改革に大きく舵を切った

臨床実習のパラダイムシフト

①実習期間が1.5倍の**70週**に ②診療見学型から**診療参加型**へ ③根拠を伴った**成果評価**

医学教育分野別評価への対応(国際基準審査:適/不適合)

臨床実習の大幅な改定への対応



- ✓教育・研究・診療のバランスが取れない。
- ✓紙運用や電子カルテ記載だけでは対応不可能。



本邦初!!

2018年福井大学が開発し、導入・運用に成功!!

臨床情報と実習情報のシームレスな連携で、臨床教育を見える化し
正確な状況把握・評価・指導と医学教育の強化・改善を可能にするシステム

CESS

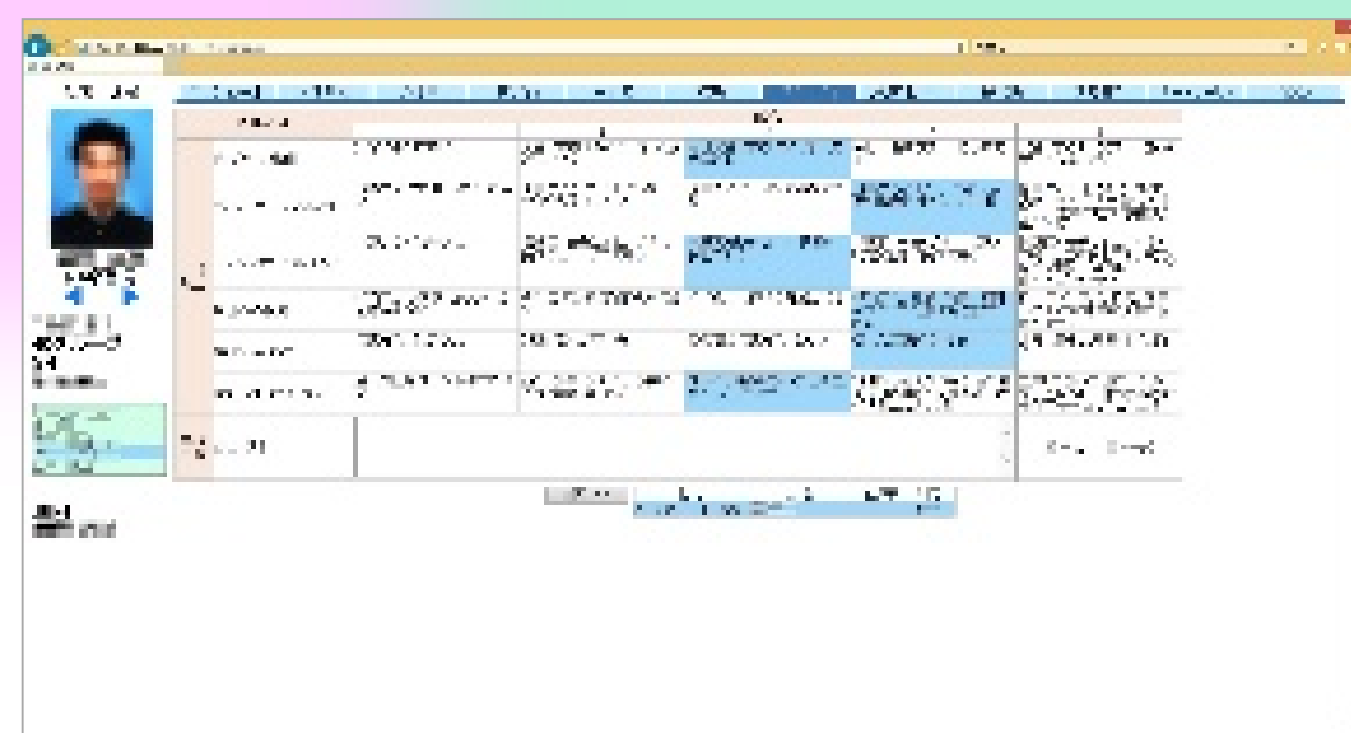
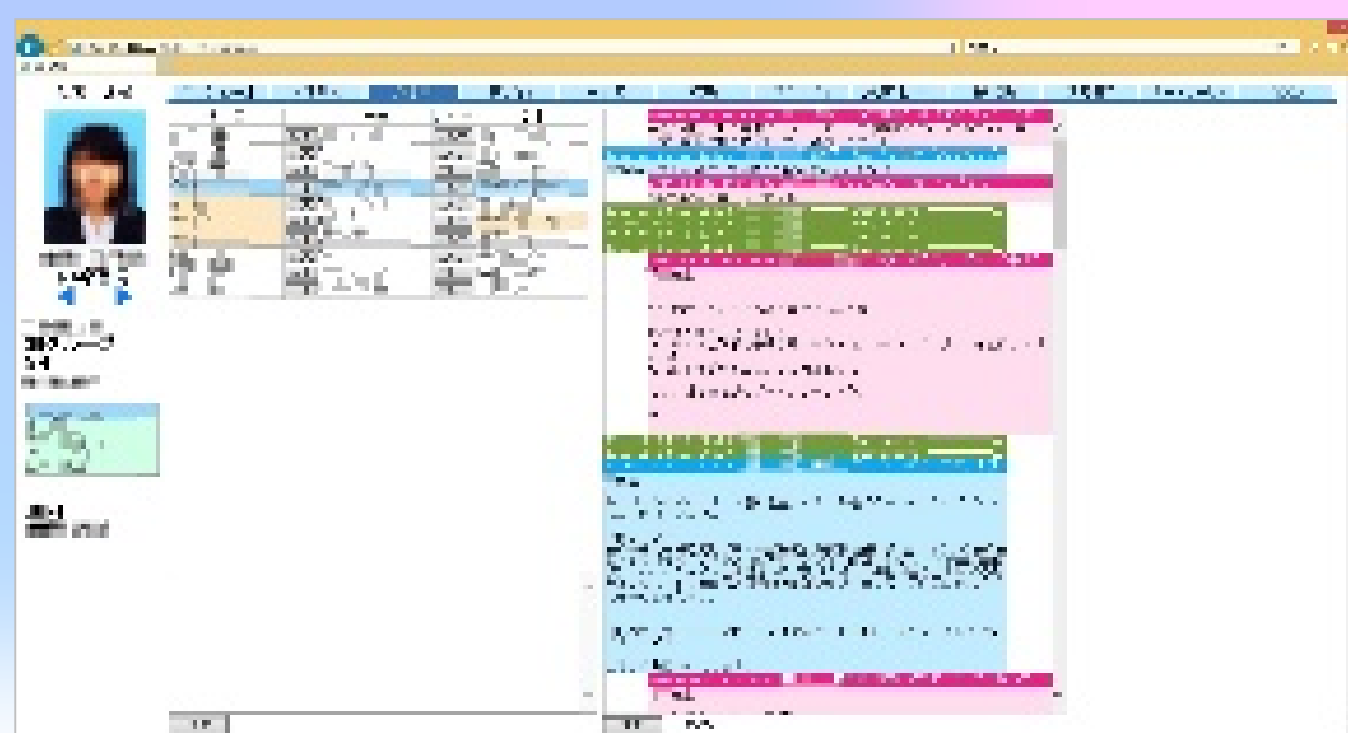
Clinical Education Supporting System

Clinical
電子カルテ

臨床教育支援システム

実習経験の共有

Education
臨床実習



UNIVERSITY OF FUKUI

CESS運用実績

と書かれる。

2018-04-10 19:20:41 今日の手術は特殊な難症のため、あま...
今日の手術は特殊な難症のため、あまり加わることができず、すみませんで
した。

術後の評価...
今日の手術は特殊な難症のため、あま...
今日の手術は特殊な難症のため、あま...
今日の手術は特殊な難症のため、あま...

教員コメント

2018-04-10 17:01:31 Subjective (訪室...)
(訪室時眠ってあられる)
Objective
井心原性脳梗塞発症の既往(2015年3月)
井心原性脳梗塞発症(井心原性脳梗塞)

学生カルテ記載

2018-04-10 16:45:10 この方が抗凝固薬による治療を行っ...
この方が抗凝固薬による治療を行っていない場合、年間の脳卒中発症率はど
れほどか、また評価するスコアについて調べてください。

学生コメント

2018-04-10 この方は陣...
手術では左MCA領域にトラブルが起こる可能性があります。
術前の麻痺の状態の確認が必要です。術後と比較するためです。

2018-04-09 17:34:39 この方が抗凝固薬による治療を行っていない場合、年間の脳卒中発症率はど
れほどか、また評価するスコアについて調べてください。

2018-04-09 17:32:50 Subjective はい、...
はい、これからよろしく。
明日は特に不安はない。
Objective
井心原性脳梗塞発症の既往(2015年3月)
井心原性脳梗塞発症(井心原性脳梗塞)

【内服】
ランソプラゾール00錠15mg 1錠/分1
エリキュース錠 5mg 2錠/分2
メイナート錠0.625 2錠/分2
プロテゾラム錠0.25mg 1錠/分1
ベルソムラ錠 15mg 1錠/分1
ツムラ抑肝散I粒粒粒 2.5g/包 (54)1包/分1

Assessment
本日より担当させていただきますこととお伝えしご挨拶させていただきました。
手術に対して不安なことないか聞か、特にないと返答された。
病室内を点検につかまりながら歩かれている。
手術に際し、術前2日前からKa阻害薬中止となり、ヘパリン投与中。
Plan
明日左MCA脳動脈瘤に対してクリッピング術施行予定。



- 参加：学生約300名(5・6年生全員)、診療科30(全数56)、教員約200名
- 動作：安定稼働 ・ 教員/学生に好評 ・ 様々な効果/成果を達成

新人教育支援システム:NETSSの提案

医学臨床・教育現場で実績があるCESSを基に
様々な分野での新人教育を支援する

NETSS

New Employee Training Supporting System

新人教育支援システム

OJT

報告書
システム等



新人教育の見える化

Outcome

獲得すべき
資質・スキル



【知的財産権】

- ・特願2017-016382
「学習管理プログラム、学習管理装置、学習管理システム及びデータ構造」
- ・特願2017-225408
「学習管理プログラム、学習管理装置および学習管理システム」

【連絡先】

福井大学 産学官連携本部
知的財産・技術移転部 中山 淑恵
TEL : 0776-27-9725 FAX : 0776-27-9727
E-mail:titekiall@ml.u-fukui.ac.jp



UNIVERSITY OF FUKUI

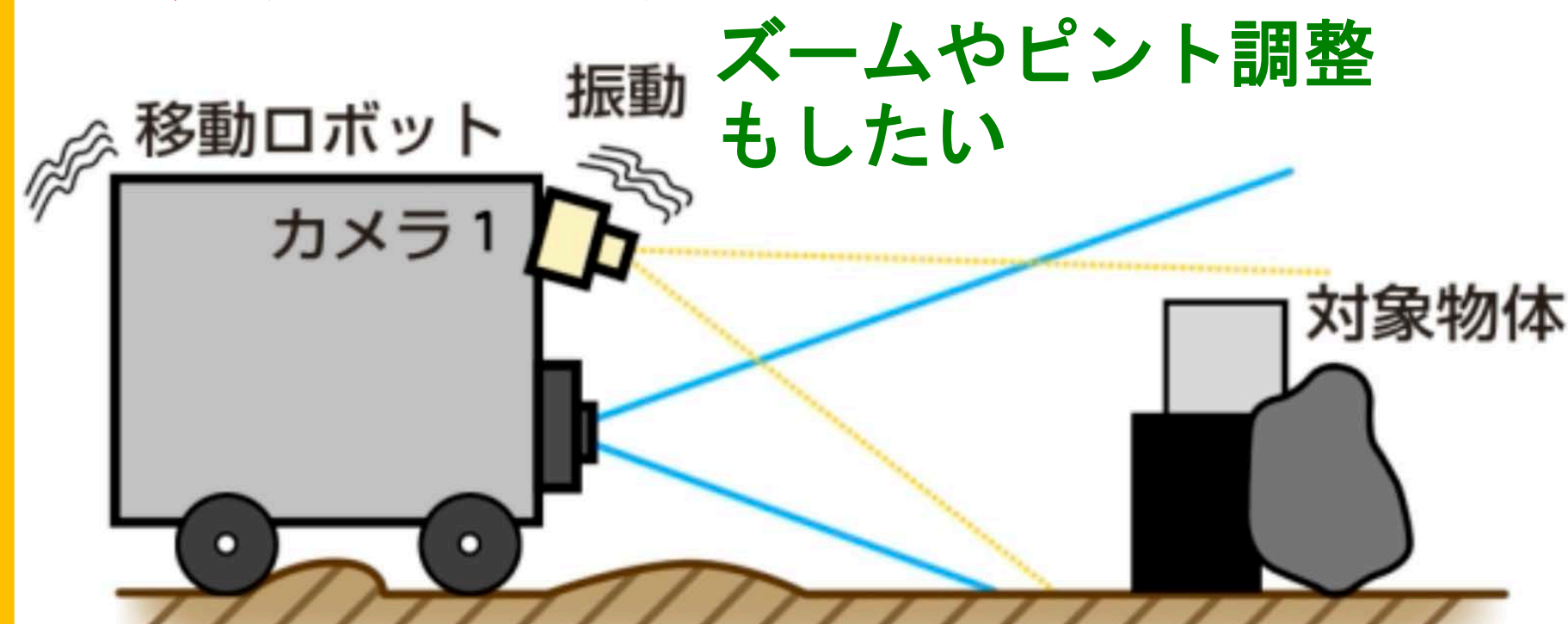
振動に強い高速・高精度3次元形状計測装置 (特徴量型全空間テーブル化手法)

福井大学 大学院工学研究科
知能システム工学専攻 教授 藤垣 元治

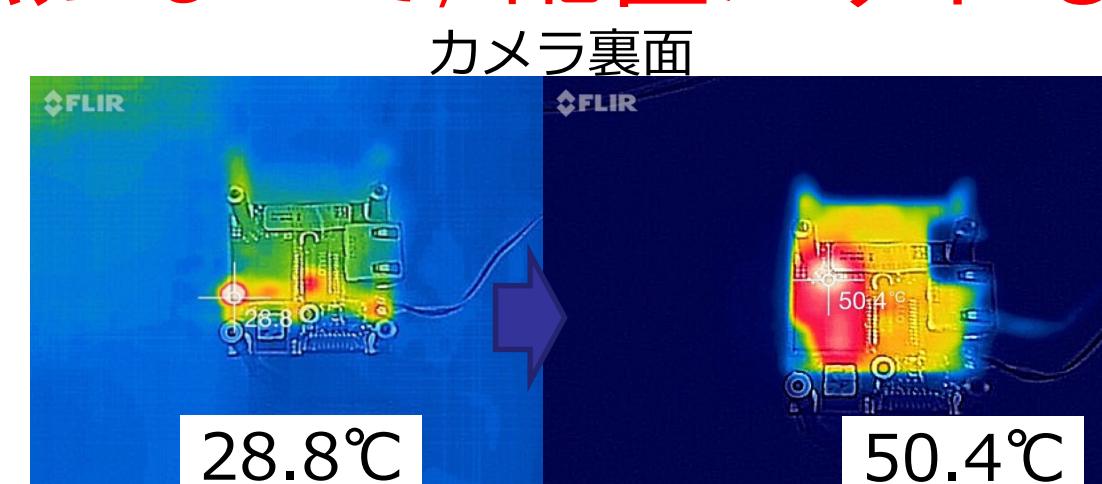
従来の3次元計測装置がうまく使えない場面

振動によって、配置がずれる

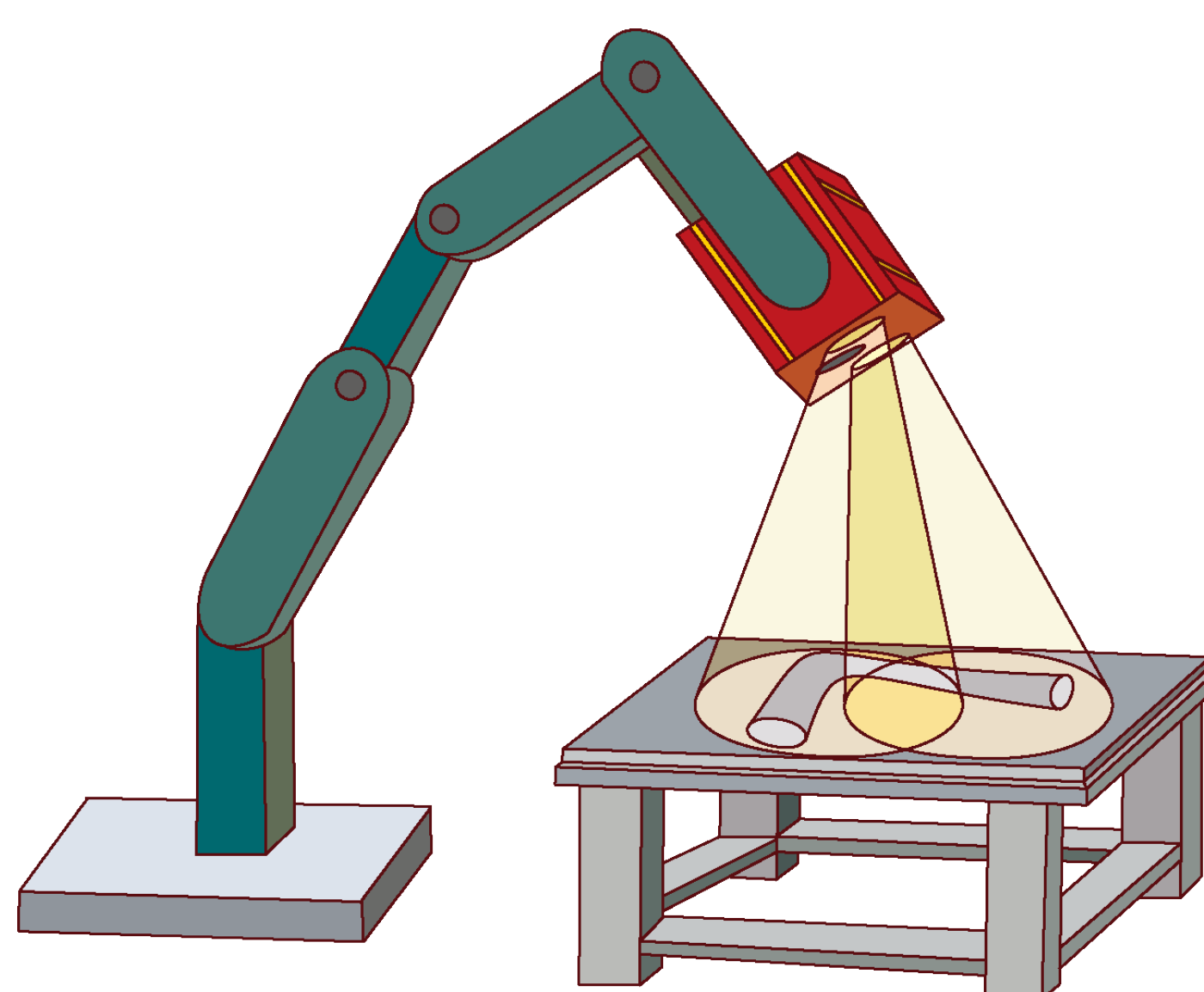
ズームやピント調整
もしたい



発熱によって、配置がずれる



動きや向きによって、レンズと
カメラの配置がずれる



従来技術における課題

★キャリブレーション後の誤差を
減らしたい！

テーブルを作成した後に発生する
誤差の主な要因

1. 温度変化による光学系のずれ
2. 振動による光学系のずれ

★ピント合わせをしたい！

★ズームもしたい！

キャリブレーション後は
できないのが今までの常識

これで解決!!!

【提案手法】特徴量型全空間テーブル化手法

Feature quantity type Whole-Space Tabulation Method (F-WSTM)

プロジェクターだけで3次元座標を 求める方法を考案した！

(従来手法は、カメラの位置情報、画像の位置
情報を使っていたため、位置ずれに弱かった)

特 徴

- ・テーブル参照だけなので高速
- ・レンズの収差の影響を受けない(高精度)
- ・カメラが複数個でも、テーブルは1個あれば良い
- ・ピントの再調整、ズームなども可能

従来できなかったことが できるようになる！

★工場現場で実用的に利用できる
(安定稼働)

★見たいところをズーム
(欠陥検出と評価)

★メンテナンスフリー

★振動環境での利用

★ロボットへの搭載

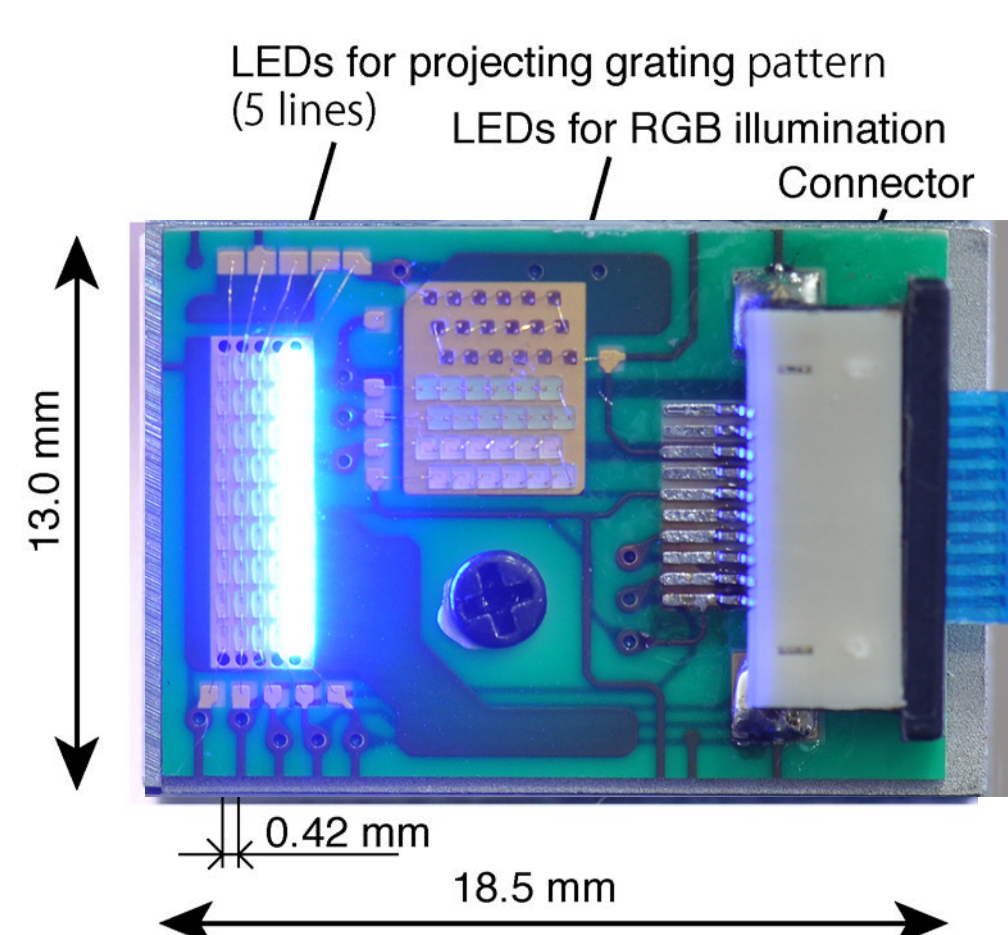
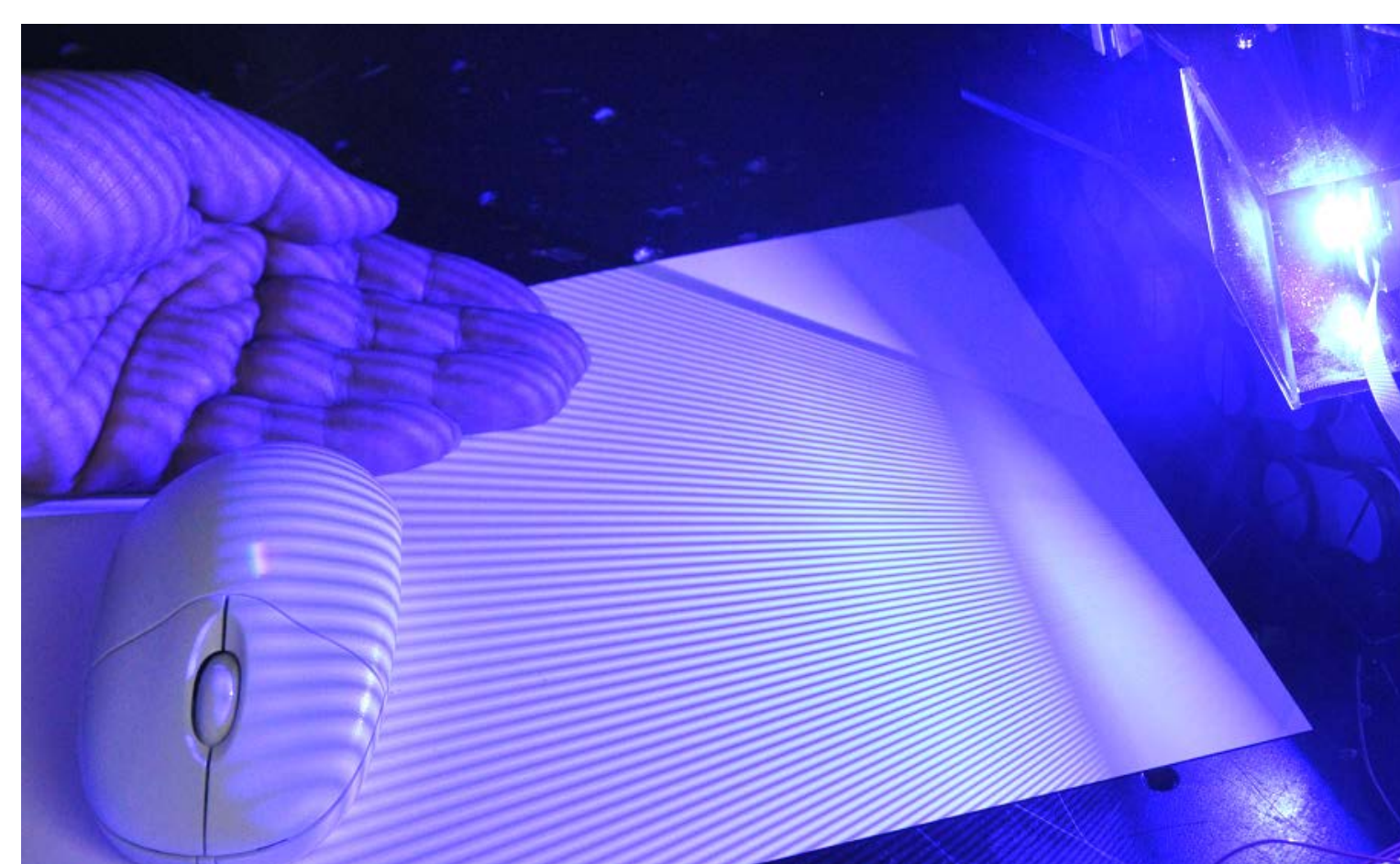
・用途の拡大

・他分野への波及効果大



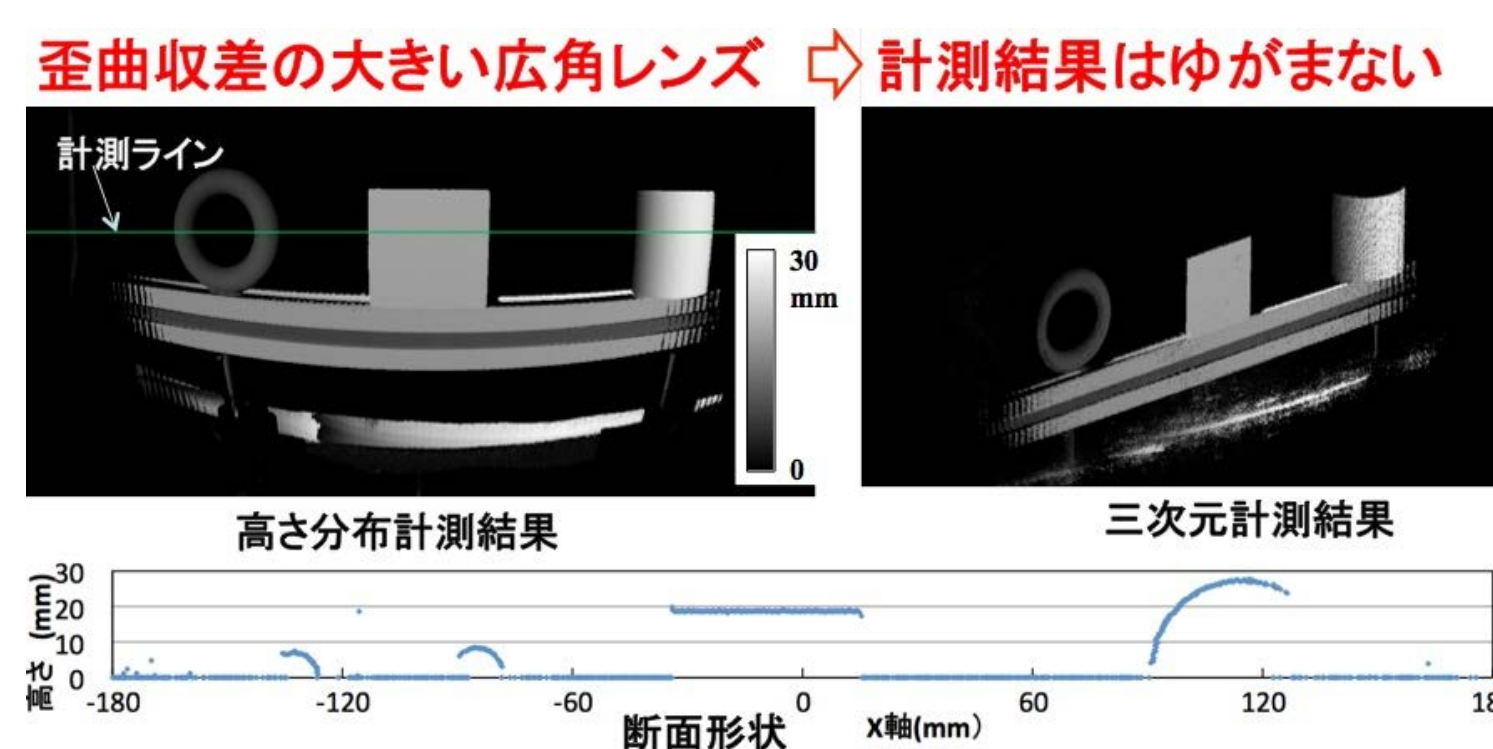
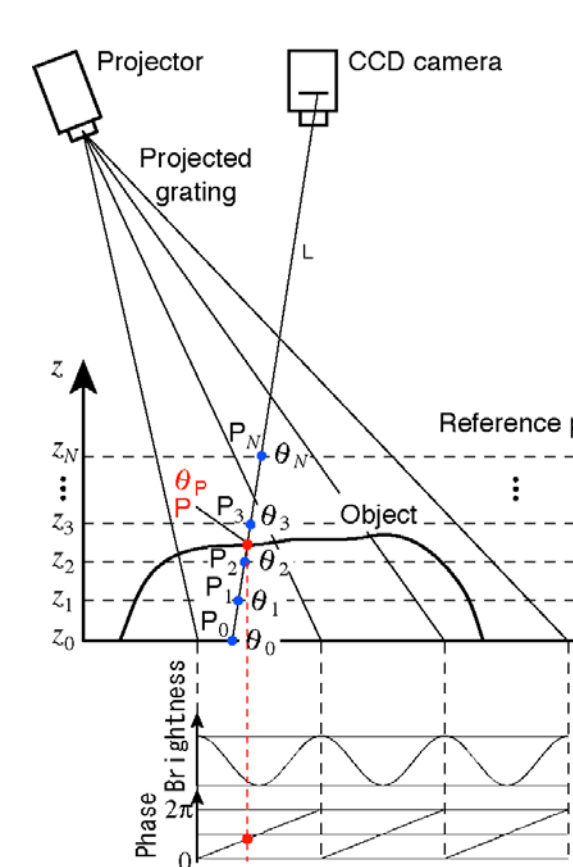
JST, 研究成果展開事業研究成果最適展開支援プログラムA-STEPステージⅡシーズ育成タイプ
「プレス加工インライン全数検査用の振動環境に強い高速度・高精度3次元計測装置の開発」
2017年10月～2020年3月, (株式会社オプトン, 国立大学法人福井大学)

ラインLEDデバイスの開発



小型でコンパクトなプロジェクターが実現できる

全空間テーブル化手法



テーブル化により、高速でゆがみのない
高精度な3次元計測が実現できる

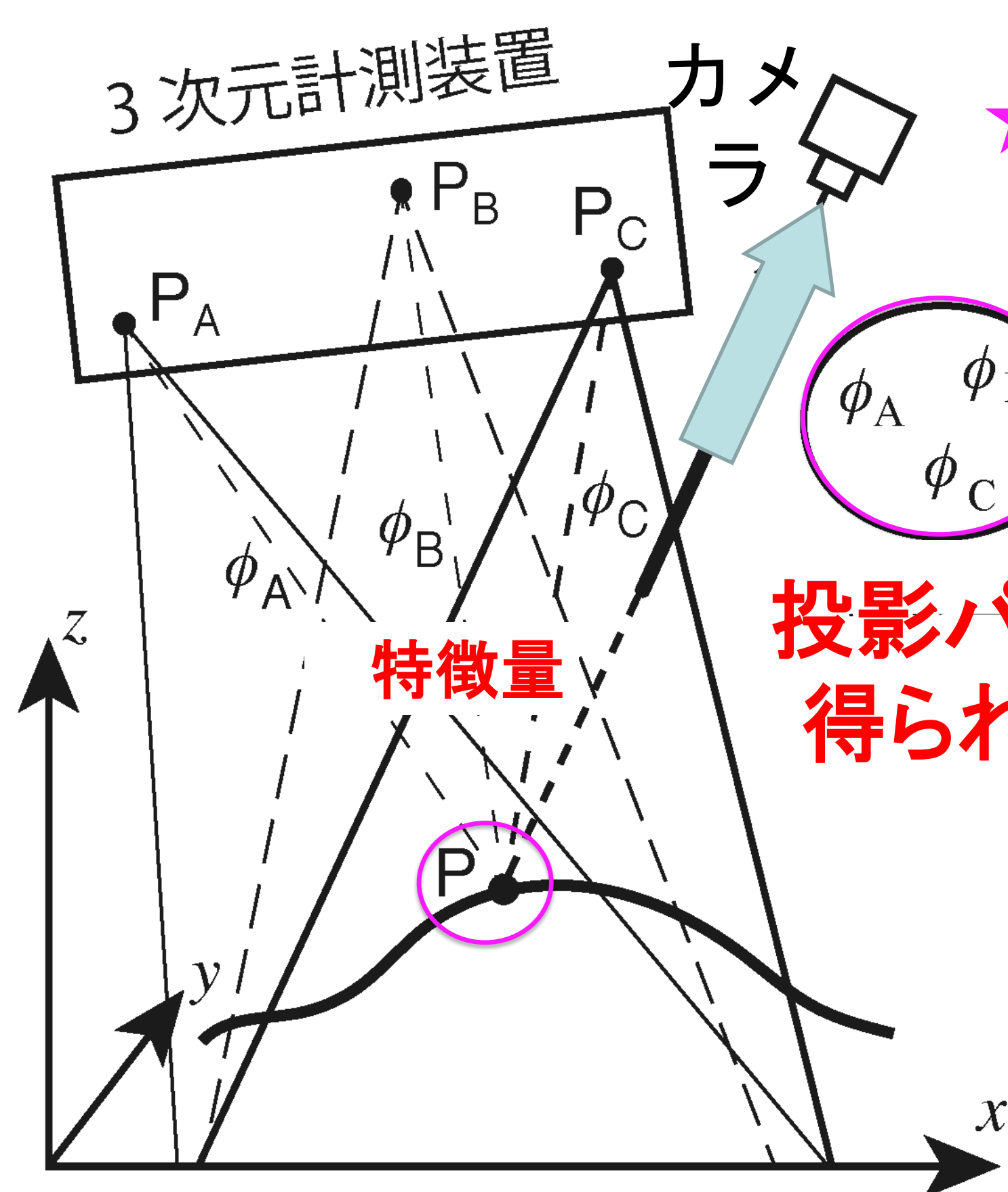
これまでのシーズの発展

新しい3次元計測手法

特徴量型全空間テーブル化手法

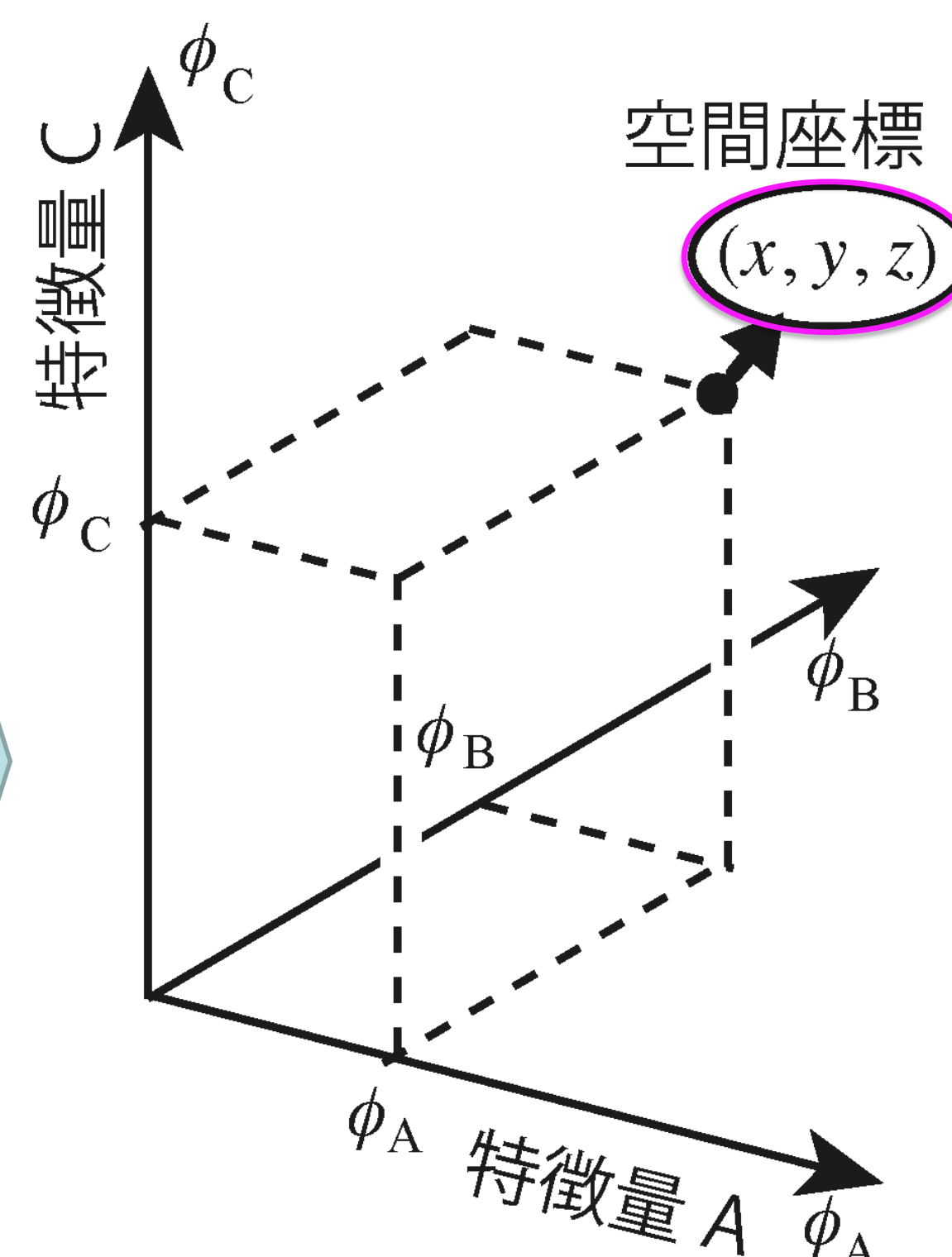
プロジェクター3個

★カメラの位置情報は不要



★カメラが動いてもよい
ピント調整、ズーム可能

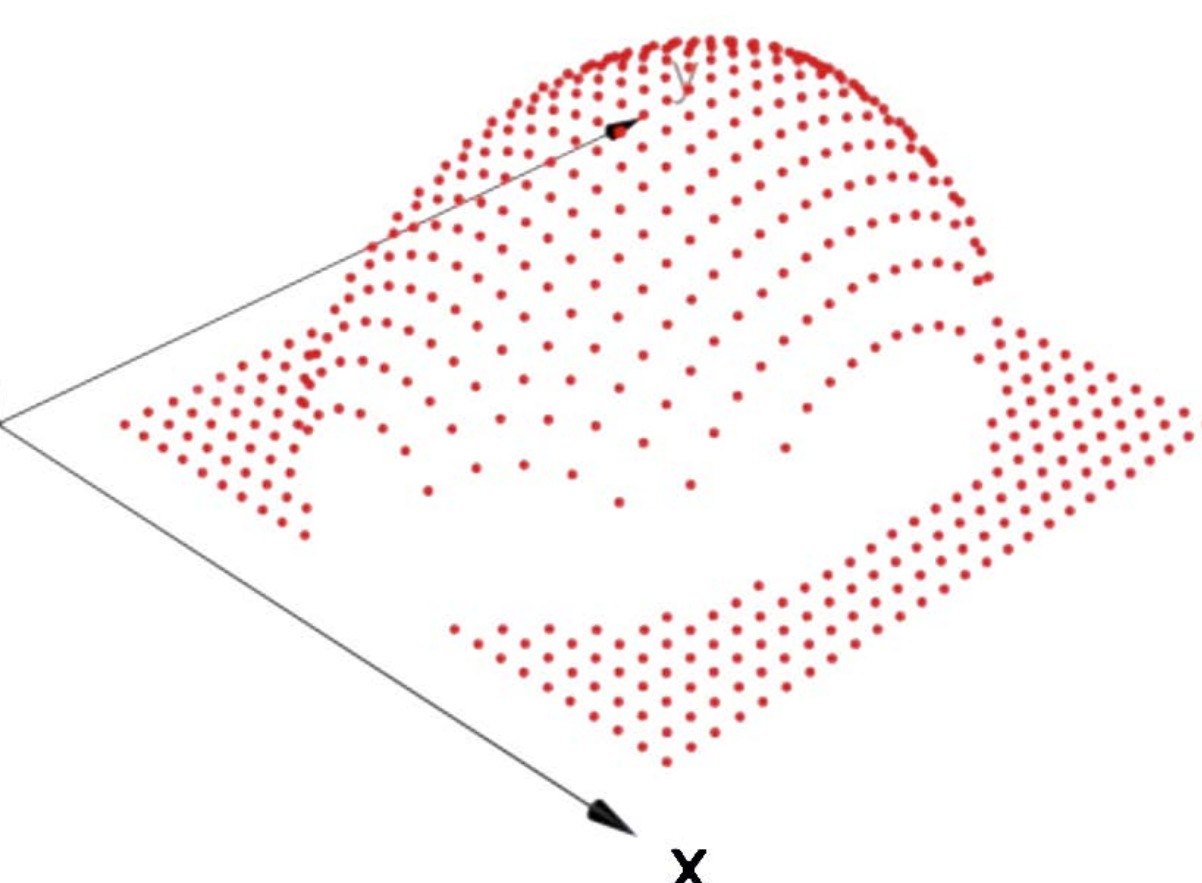
投影パターンから
得られる特徴量



特徴量→座標テーブル

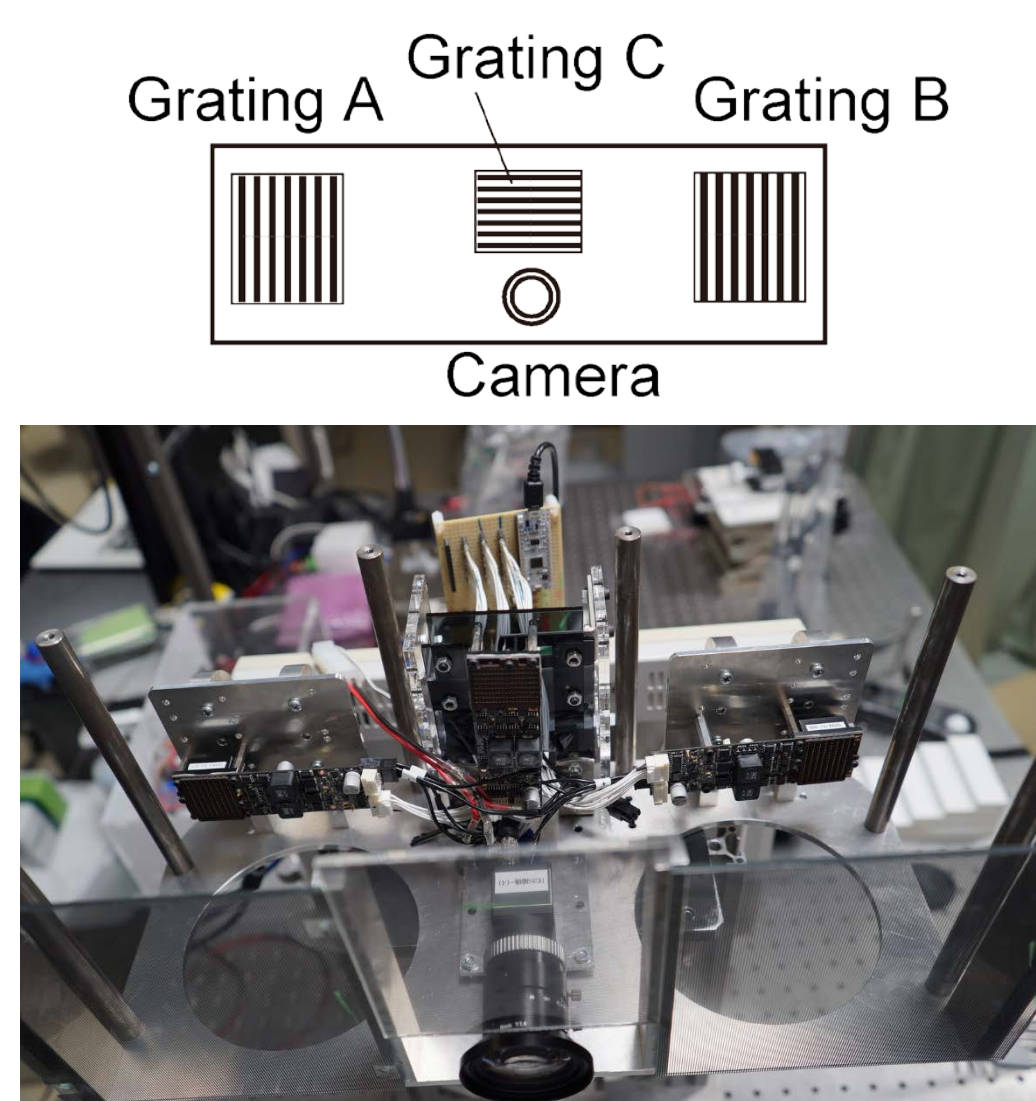
★テーブルを参照するだけ
なので、高速
★ゆがみは入らず高精度

3次元座標の分布
(計測結果)

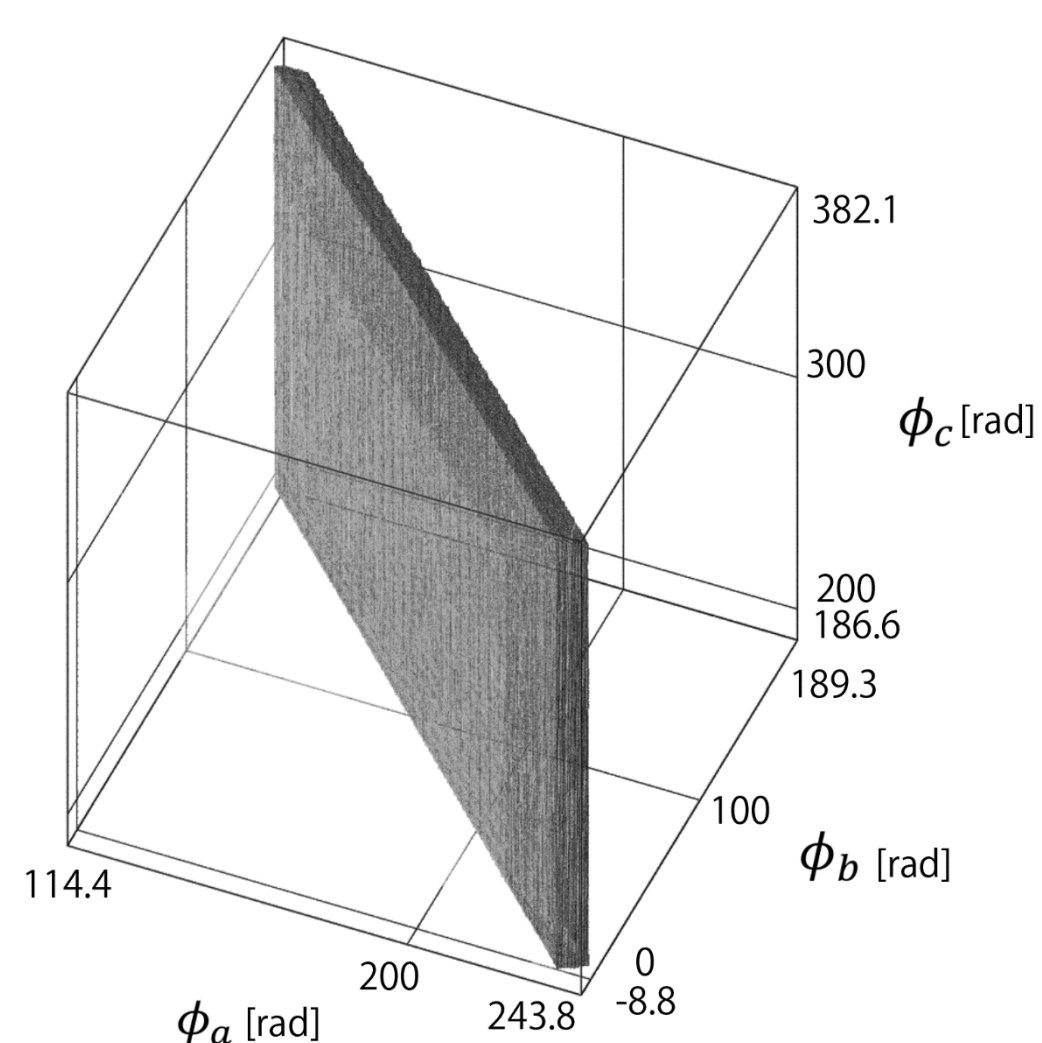


試作装置と計測例

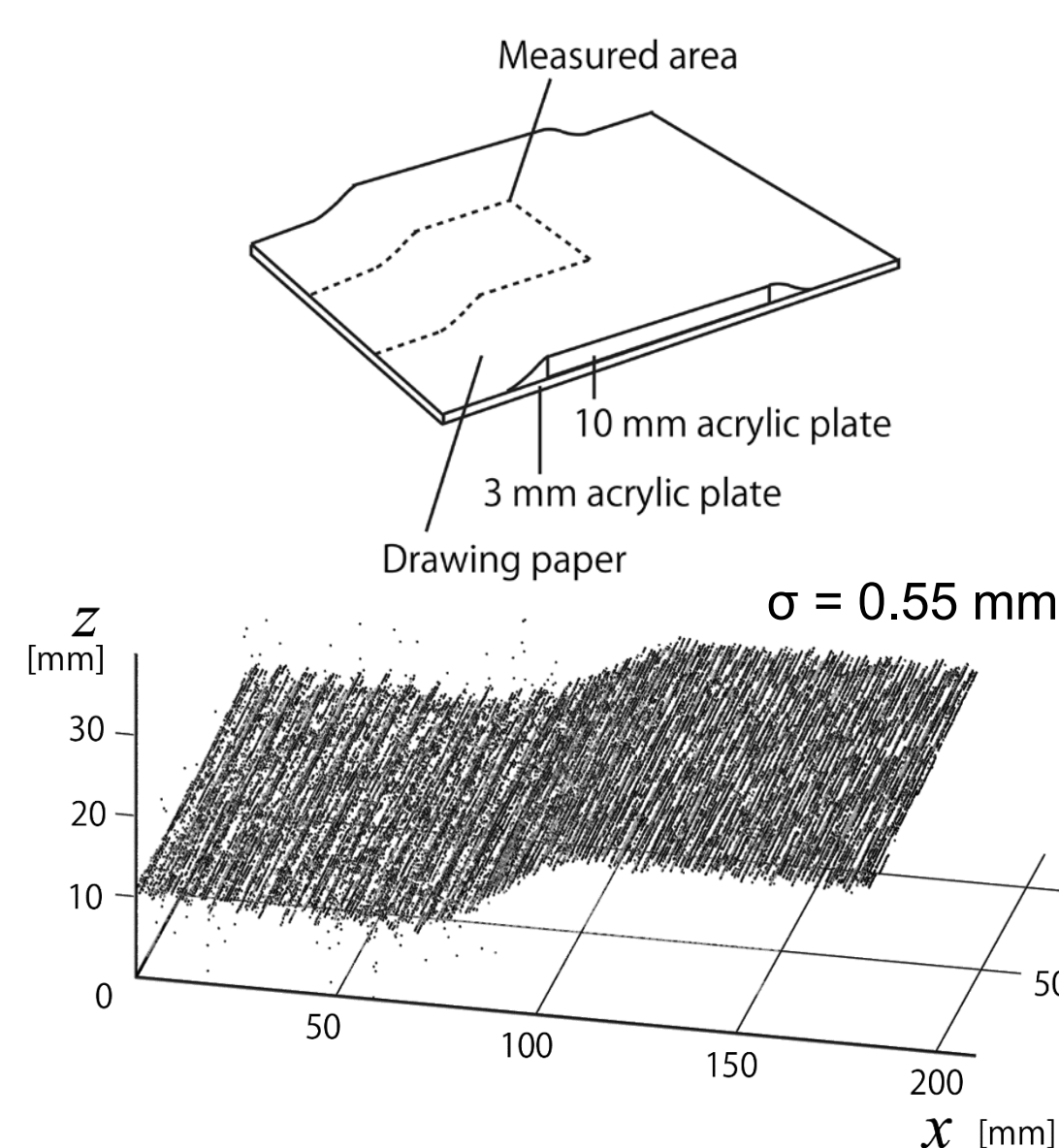
試作装置



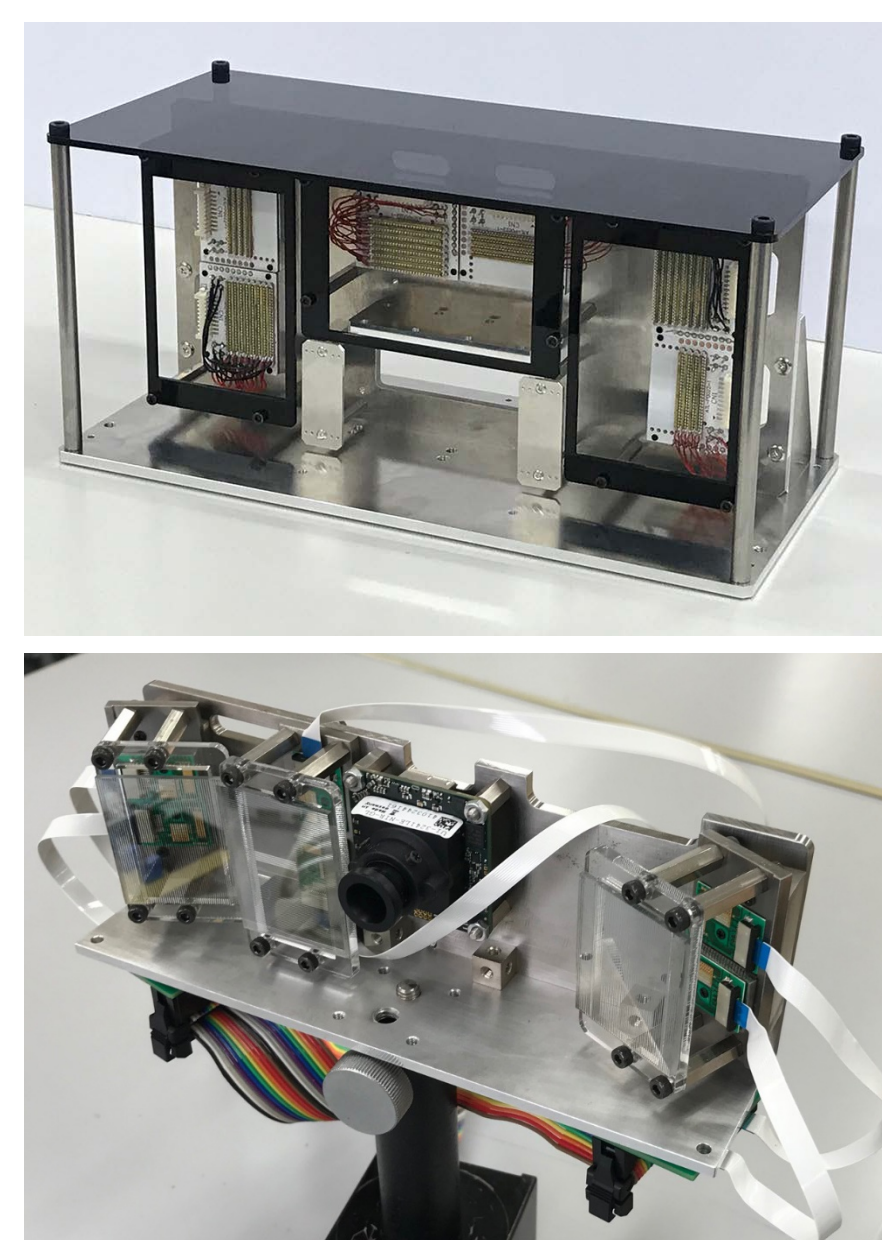
特徴量→座標テーブル



計測例



計測ユニット(試作中)



中型機

小型機

【知的財産権】

・特願2017-092144 (特許第6308637)

PCT/JP2018/017592

「特徴量を用いた3次元計測方法およびその装置」

【連絡先】

福井大学 産学官連携本部

知的財産・技術移転部 中山 淑恵

TEL: 0776-27-9725 FAX: 0776-27-9727

E-mail: titekiall@ml.u-fukui.ac.jp

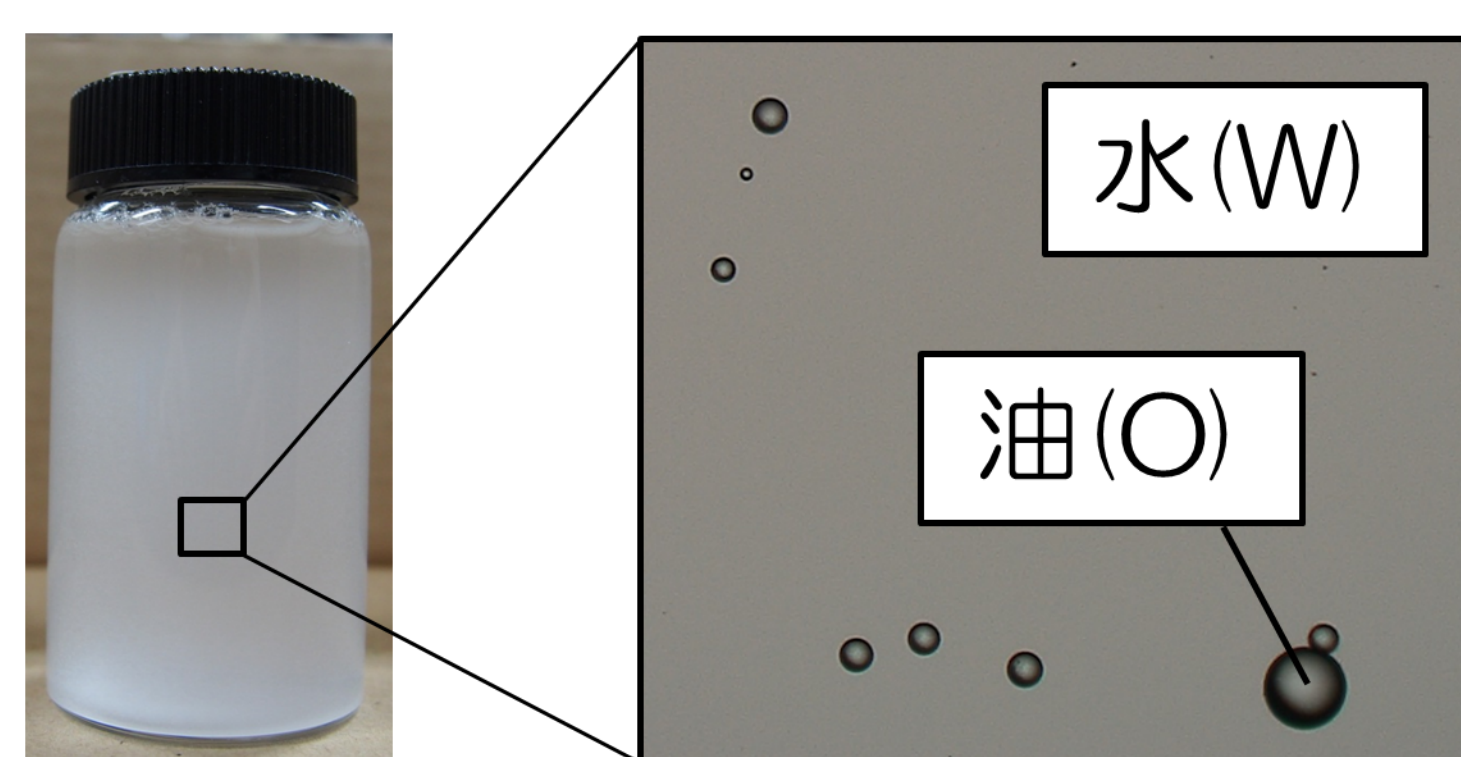
エマルションのオンライン質量分析

福井大学 学術研究院 工学系部門
材料開発工学講座 教授 内村 智博

概要

エマルションは、水と油のように互いに混ざりあわない液体の一方が他方に液滴として分散した系である。エマルションは食品・化粧品・塗料など様々な分野で利用されている。我々の研究室では、新たにエマルションのオンライン質量分析法を開発し、油相成分の直接モニタリングを実現した。本法により、崩壊過程の1つであるクリーミング挙動の解析、構成成分の相間移動の評価、複合エマルションの熟成評価などが行える。

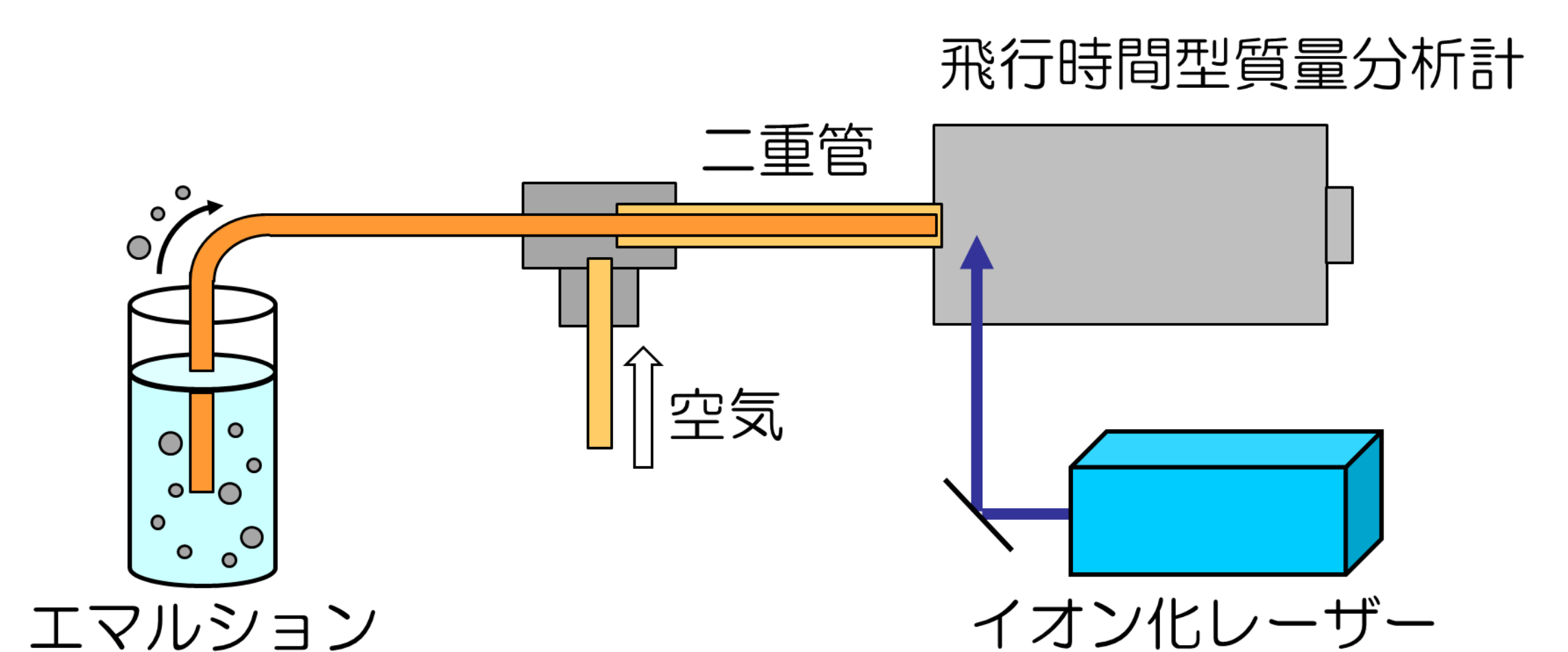
エマルション



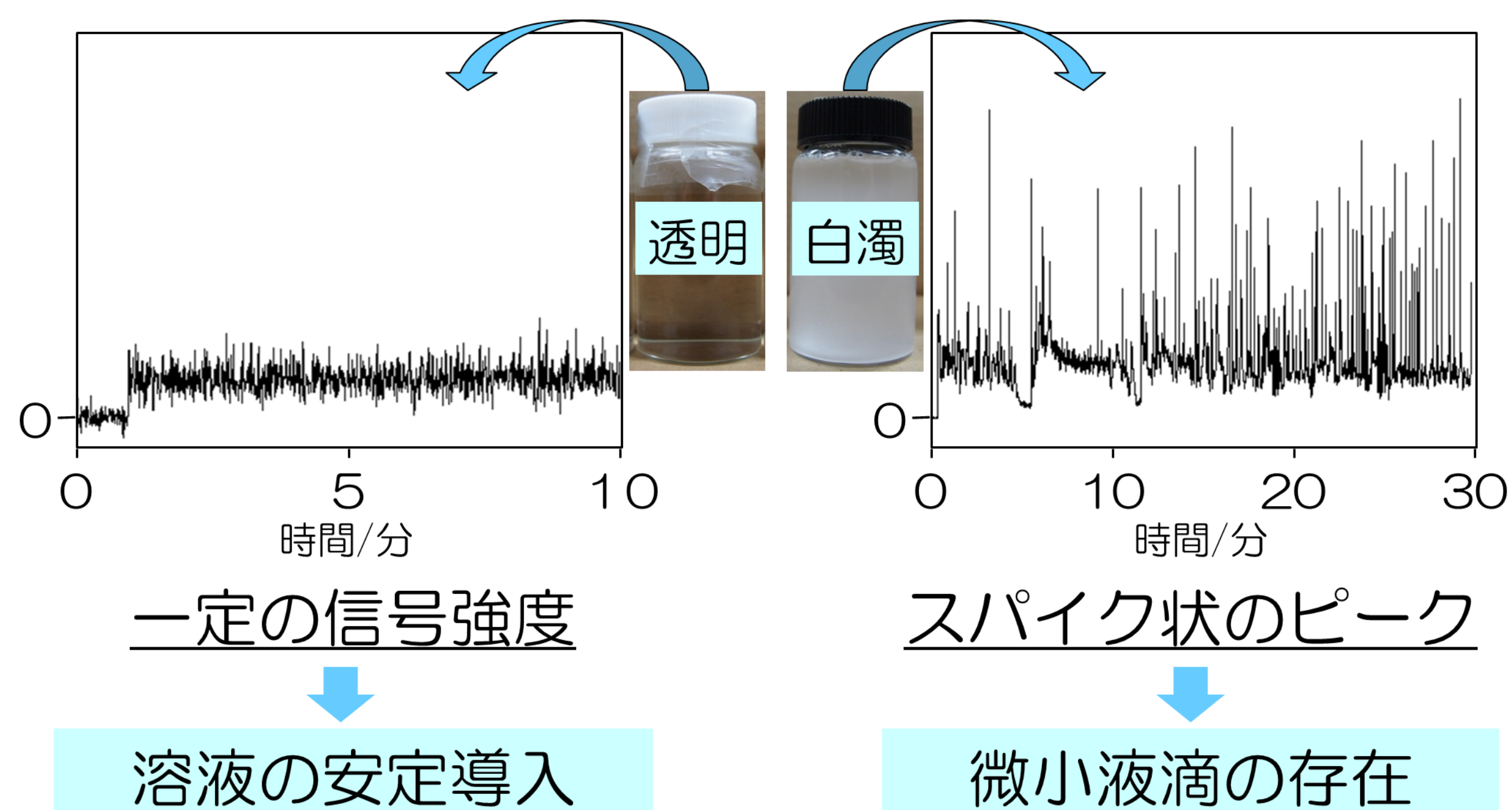
O / W エマルション

【応用例】
化粧品・食品・
インク・塗料など

レーザーイオン化質量分析法



エマルションのオンライン分析



定量性について



様々なエマルションの定量分析が可能

油相濃度：0～5 g/Lの範囲で定量可能
($R^2 = 0.9956$)

Anal. Sci., 33, 1067 (2017).

優位性・想定される活用例

- エマルションのオンライン質量分析が可能
- 各成分の存在する位置を確認できる
⇒ 複合エマルションにも適用可能
- 数～数十ミクロンの油滴の直接検出が可能
- エマルションの安定性評価が可能
⇒ エマルションの品質管理・品質保証

ご質問・共同研究・依頼
分析など、お気軽にお声
かけ下さい。

【連絡先】

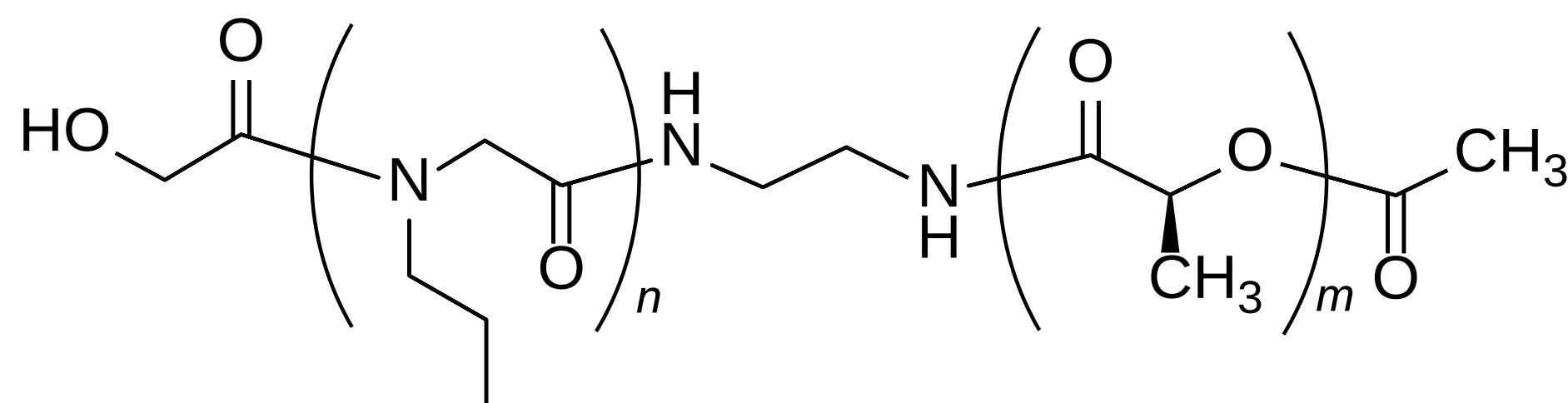
福井大学 産学官連携本部
知的財産・技術移転部 中山 淑恵
TEL：0776-27-9725 FAX：0776-27-9727
E-mail：titeki@ad.u-fukui.ac.jp

ドラッグデリバリーシステム用分子材料

温度応答性高分子ミセルとその利用

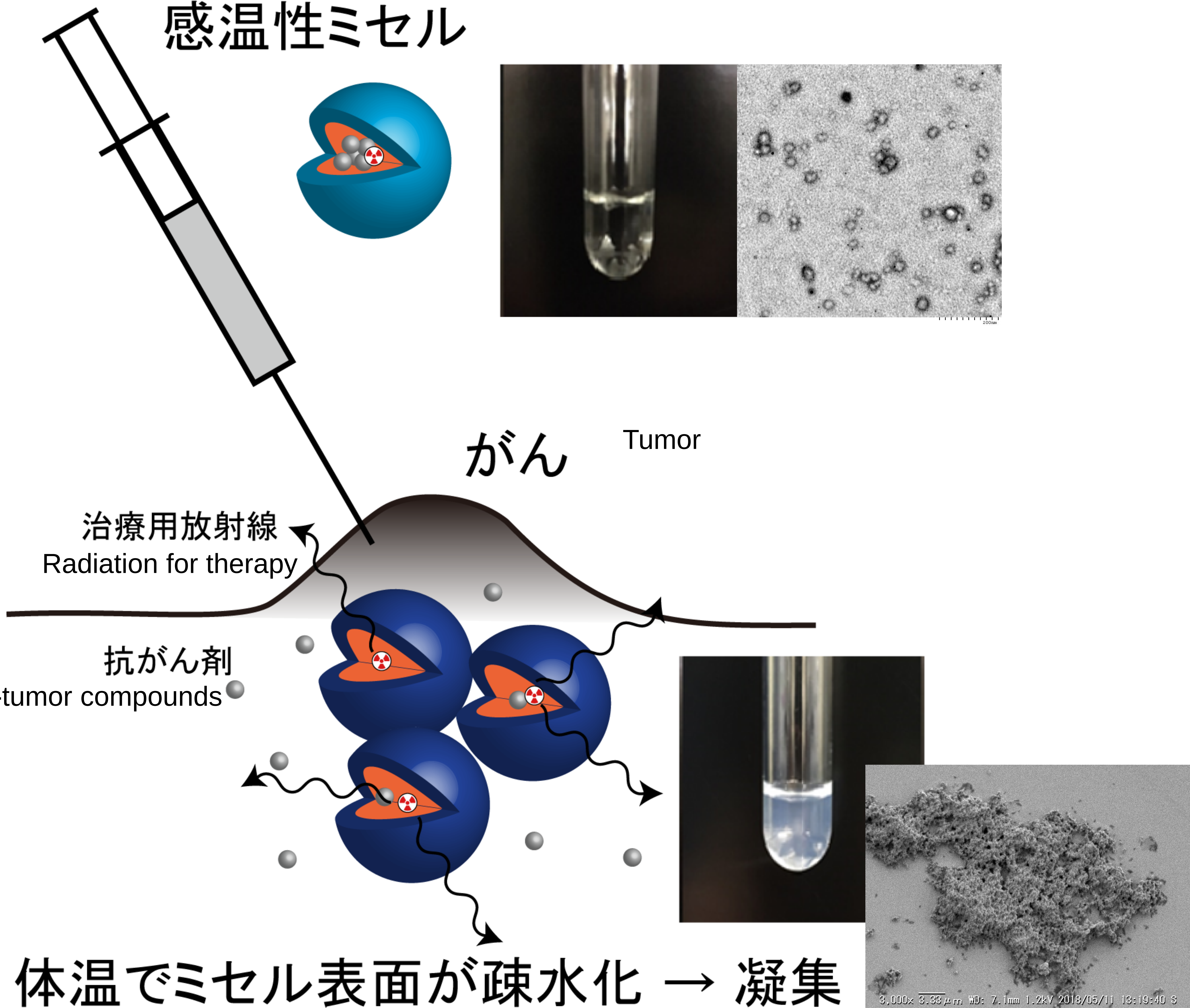
例) 放射線内照射治療と化学療法との併用療法のためのナノキャリアとしての応用

福井大学 先進部門 高エネルギー医学研究センター
分子プローブ開発応用領域 准教授 牧野 顕



Thermosensitive polymer micelle

感温性ミセル



抗がん剤の徐放
治療用放射線の放出

Responded by body temperature, surface of the micelle was hydrophobitized, forming micelle aggregates

任意の疎水性化合物を内包することが可能

Any hydrophobic compounds can be encapsulated into the micelle

CC(C)OC(=O)C(=O)NCCNC(=O)C(=O)NCC(C)C(=O)O
化合物A

化合物B

⇒

Hydrophilic shell
(Thermosensitive unit)

Hydrophobic core

コア-シェル型高分子ミセル

ミセルの基材（両親媒性高分子）と任意の疎水性化合物を混合し、
処理するだけで高い内包効率でミセルを精製することが可能

複数の化合物を内包可能
それぞれの内包物の濃度制御が可能

応答温度の制御が可能

Responsive temperature can be controlled by changing thermosensitive unit

Water soluble polymer

CC(C)OC(=O)NCC
poly(*N*-methyl glycine)

LCST behavior

CCC(C)OC(=O)NCC
poly(*N*-propyl glycine)
15-25℃

C=CC(C)OC(=O)NCC
poly(*N*-allyl glycine)
27-54℃

CC(C)C(C)OC(=O)NCC
poly(*N*-isopropyl glycine)
47-58℃

温度応答ユニットの構造によって、ミセルの応答温度を制御できる

多孔質凝集体からの高い薬剤放出効率

High encapsulated compound release efficiency caused by large surface area of the nano-porous micelle aggregates

3,000x 3.33 μm WD: 7.1mm 1.2kV 2018/05/11 13:19:40 S

15,000x 666 nm WD: 7.0mm 1.5kV 2018/05/11 13:33:24 S

大きな表面積による高効率な内包物放出が可能

CC(C)OC(=O)C(=O)NCCNC(=O)C(=O)NCC(C)C(=O)O

放出率

Time / h

薬剤放出速度の制御が可能

Compound release behavior can be controlled. For example, therapeutic radioisotope (⁶⁴Cu in this case) attached to hydrophobic Poly(lactic acid) chain is stably encapsulated into the micelle

CC(C)OC(=O)C(=O)NCCNC(=O)C(=O)NCC(C)C(=O)O

放出率

Time / h

内包する化合物の構造最適化によって、薬剤放出速度を制御できる

【知的財産権】

・特願2018-119349

「両親媒性高分子、その利用」

【連絡先】

福井大学 産学官連携本部

知的財産・技術移転部 中山淑恵

TEL : 0776-27-9725 FAX : 0776-27-9727

E-mail: titekiall@ml.u-fukui.ac.jp