

現場とヒトに宿る「暗黙知」 ～熟練技能と機能安全～

榎木 哲夫

京都大学大学院 工学研究科 機械理工学専攻 教授
京都大学大学院 工学研究科長
京都大学 総合技術部委員会 委員長

京都大学技術職員研修（第47回）
令和4年9月5日（月）

2022/09/05

京都大学技術職員研修（第47回）講義

KYOTO UNIVERSITY



1

榎木 哲夫（さわらぎ てつお） プロフィール （京都大学 教授，京都大学工学部長・工学研究科長，京都大学副理事）

- 1983年 京都大学大学院工学研究科精密工学専攻修士課程修了
- 1986年 同大学院博士課程指導認定退学。同年京都大学工学部精密工学教室助手 京都大学工学博士
- 1994年 同大学院工学研究科精密工学専攻助教授
- 2002年 同教授
- 2005年 改組により機械理工学専攻教授，現在に至る。
- その間，米国スタンフォード大学客員研究員，京都大学理事補（研究・国際担当）ならびに京都大学国際交流推進機構の副機構長ならびに国際交流センター長等を兼任
- 2021年-現在
京都大学工学研究科長・工学部長・京都大学副理事を兼任

（研究活動）

人間－機械共存環境下での協調システムの設計・解析と知的支援等に関する研究に従事
計測自動制御学会フェロー，IFAC（国際自動制御連合）TC4.5 Human Machine System技術部会Vice Chair.

（学内教育活動）

21世紀COE「動的機能機械システムの教理と設計論」（2003-2007年度）拠点リーダー
2005年以來京都大学と三菱電機（株）の間で機械分野での組織連携産学共同研究の研究代表者
「国際的横断型アカデミア人材育成のための機械系工学教育研究プログラム」（2010年1月～2013年1月）代表
博士課程教育リーディングプログラム「デザイン学大院連携プログラム」（2012-2018年度）プログラム担当者

（歴任）

公益社団法人 計測自動制御学会会長，ヒューマンインタフェース学会会長，システム制御情報学会会長，IEEE SMC Japan Chapter Chair，文部科学省中央教育審議会大学分科会専門委員，産業競争力懇談会（COCN）アドバイザー，等

（受賞歴）

計測自動制御学会論文賞・著述賞，ヒューマンインタフェース学会論文賞，システム制御情報学会論文賞，日本知能情報フuzzy学会論文賞，日本保全学会論文賞，日本工学教育協会工学教育賞，市村産業賞貢献賞，等

2022/09/05

京都大学技術職員研修（第47回）講義

KYOTO UNIVERSITY



2

本日の講演内容に関する解説論文・著書等

総説論文

- 榎木哲夫: コミュニケーションのメディアから知識のインフラへ, 日本機械学会誌, 98(919), 452-456, 1995.
- 榎木哲夫: 知識獲得と教示, 日本ロボット学会誌, 13(5), 588-591, 1995.
- 榎木哲夫: 資源制約を有するエージェントの設計と概念学習, 日本ロボット学会誌, 13(1), 44-50, 1995.
- 榎木哲夫: 人間-機械-環境系からみる熟練技能, 計測と制御, 37(7), 471-476, 1998.
- 榎木哲夫, 北村正晴, 稲垣敏之: 自動化におけるヒューマン・システム・インタラクションの諸相, ヒューマンインタフェース学会誌, 12(1), 30-39, 2000.
- 榎木哲夫: モデリングにおける時間と環境の文脈と不確実性, 日本ロボット学会誌, 18(3), 318-324, 2000.
- 榎木哲夫: 人間を内部に含む系の創発: インタラクションの内包する複雑性, システム/制御/情報, 45(11), 615-622, 2001.
- 榎木哲夫: 生態学的視点から見た技能とインタフェース設計, 日本ロボット学会誌, 23(7), 779-784, 2005.
- 榎木哲夫: 情報法則によるハードウェア工学のパラダイムシフト, 日本機械学会誌, 100(1035), 88-91, 2005.
- 榎木哲夫: 状況認識共有のためのインタフェース技術, システム/制御/情報, 49(4), 139-146, 2005.
- 榎木哲夫: 信頼性とヒューマンマシンシステム, 計測と制御, 46(4), 298-304, 2007.
- 榎木哲夫: 記号過程を内包した動的適応システムの設計論: つくる設計論から育てる設計論へ, システム/制御/情報, 54(11), 2010.
- 榎木哲夫: 実践の知としてのデザイン, 計測と制御, 54(7), 455-461, 2015.
- 榎木哲夫: システムのゆらぎとレジリエンス, システム/制御/情報, 60(1), 9-17, 2016.
- 榎木哲夫: 人と機械の共創による活力ある社会技術システムのデザイン, 計測と制御, 57(2), 79-84, 2018.
- 榎木哲夫: 豊かな高齢化社会の実現に向けた人間中心のシステムデザイン, システム/制御/情報, 63(4), 2019.

著書

- 岩井杜介 著, 片井修 著, 榎木哲夫 著, 坂口敏明 著, 福森孝司 著: 知識システム工学, 計測自動制御学会 編・発行, 436頁, 1991. ISBN 978-4-339-08344-6
- 榎木哲夫 著: スキルの科学, 岩田 一明 編著, 高等研報告書0703, 208頁, 2007. ISBN-13: 978-4906671540
- 榎木哲夫 編著: スキルと組織, 高等研報告書0906, 275頁, 2011. ISBN-13: 978-4906671762
- 榎木哲夫 編著, 松原 厚 著, 川上 浩司 著, 堀口 由貴男 著: アーティファクトデザイン (京都大学デザインスクール テキストシリーズ), 共立出版, 297頁, 2018. ISBN-13: 978-4320006027

2022/09/05

京都大学技術職員研修 (第47回) 講義

ほか。

3

講演概要

- **「現場力」について**
 - 現在のロボットやAIではできないこと
 - 築地市場と豊洲市場による例示
- **技術中心の自動化・AIのもとでの人的過誤と不安全事故**
 - ロボット・人工知能 (AI) が10~20年の間に現在ある仕事の約半分を自動化
 - 航空機の自動化に起因する人的過誤
 - M-SHELL 分析
- **人的過誤から組織過誤の分析へ**
 - 活動理論に基づく組織活動における作業変容のプロセス分析: JCO臨界事故の事例研究
- **人間機械系と機能安全について**
 - Safety 2.0
 - 協働安全 (コラボレーション・セーフティ)
- **熟練技能の獲得・活用・伝承・創成のための人協調 AI 基盤技術開発の研究**
 - 「新たなニューラル自然言語解析による暗黙知の表出・分析・獲得」
 - 「暗黙知を含めた熟練技能プロセスモデル化」
 - 「感覚的熟練行動の獲得・伝承を促進する対話型AI」

2022/09/05

京都大学技術職員研修 (第47回) 講義

4

「現場力」について

2022/09/05

京都大学技術職員研修（第47回）講義

KYOTO UNIVERSITY



5

“現場力”（池田光穂）

【1】現場力の非所有的性格

- 単純に人間主体に帰属するようなものではなく、対人関係性の中や現場にある空間的特性や機械との協調行動に関連づけられる技能や能力。単純な協働能力でもない。所有の主格が特定できない。

【2】現場力の伝達可能性

- 現場で構成される概念であると同時に伝達することが可能なもの

【3】社会的な概念としての現場力

- 現場力を決定する要因は、言語の理解力、文脈決定性、そして音声能力や聴力などの身体特性など。対人関係的能力。

Genba-ryoku, empowerment faculty and sensibility in practice,
empower in situ, situated empowerment process

2022/09/05

京都大学技術職員研修（第47回）講義

KYOTO UNIVERSITY



6

in vitro, in vivo, in situ

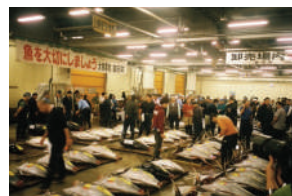
- *in vitro* (イン・ビトロ)
 - “試験管内で (の)” という意味で、試験管や培養器などの中でヒトや動物の組織を用いて、体内と同様の環境を人工的に作り、薬物の反応を検出する試験のことを指す。
- *in vivo* (イン・ビボ)
 - “生体内で (の)” という意味で、マウスなどの実験動物を用い、生体内に直接被験物質を投与し、生体内や細胞内での薬物の反応を検出する試験のことを指す。
*in vivo*の由来はラテン語。特に非臨床試験（前臨床試験）において用いられる試験。
*in vivo*での試験の場合、実験の条件が人為的にコントロールされていない、という意味になる。例えば細胞内での反応などが当てはまる。
- *in situ* (イン・サイチュ)
 - 「その細胞が由来する生物個体内の本来あるべき場所」での実験を意味する。その細胞の位置が重要であったり、細胞がその周囲からの影響を受けているような場合に、このような条件での実験が必要となる。



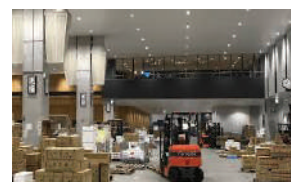
築地市場（上）と豊洲市場（下）



<https://www.sushiacademy.co.jp/archives/4356>



<https://www.shijou.metro.tokyo.lg.jp/toyosu/project/punflet/>



技術中心の自動化・AIのもとでの人的過誤と不安全事象

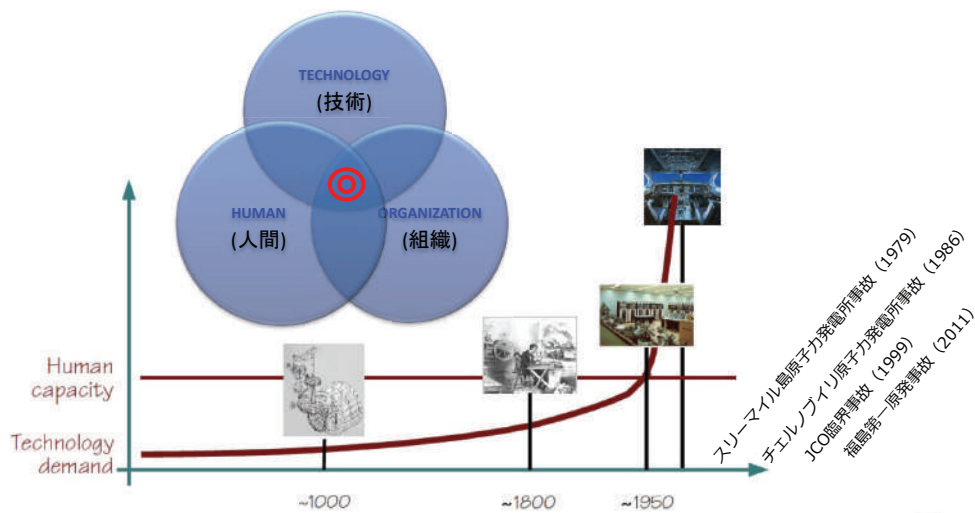
2022/09/05

京都大学技術職員研修 (第47回) 講義



11

社会技術システム (Socio-Technical Systems)



2022/09/05

京都大学技術職員研修 (第47回) 講義



12

航空機の自動化に起因する人的過誤による墜落事故の頻発

- 1988 Introduction of Airbus A320 Airliner: Glass Cockpit
- 1989 NASA Ames Research Center, 2010 Federal Aviation Administration
 - More than half of the accidents are due to human factors involved in automation
- 1990 Indian Airlines (IAC) Flight 605 Airbus A320-231 (Bangalore Airport)
- 1994 China Airlines Flight 140 Airbus A300 B4-622R (Nagoya Airport)
- 1995 American Airlines Flight 965 Boeing 757-200 (Cali, Colombia)
- 2001 Japan Airlines near miss incident above Suruga Bay (above Suruga Bay)
- 2009 Air France Flight 447 Airbus A330-200 (Atlantic Ocean)
 - Incorrect response operations after stall warning, loss of situational awareness
- 2012 Survey by European Aviation Safety Agency (EASA)
 - 95% of pilots report erosion of manual and cognitive maneuvering skills, deskilling problem
- 2013 Asiana Airlines Flight 214 Boeing 777-200ER (San Francisco)

CFIT (Controlled Flight Into Terrain)

2022/09/05

京都大学技術職員研修 (第47回) 講義



13

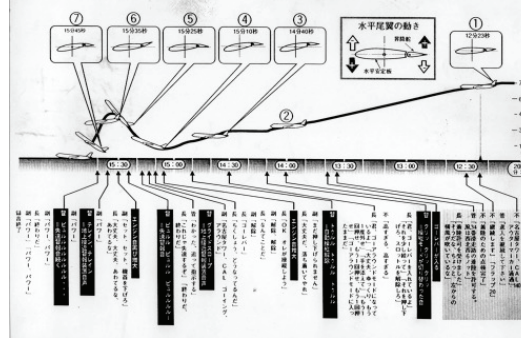
中華航空機事故 (名古屋空港, 1994)

<http://www.shippai.org/fkd/cf/CA0000621.html>



©NHK

<https://ono-fumimachigai.com/self-driving/5758/>



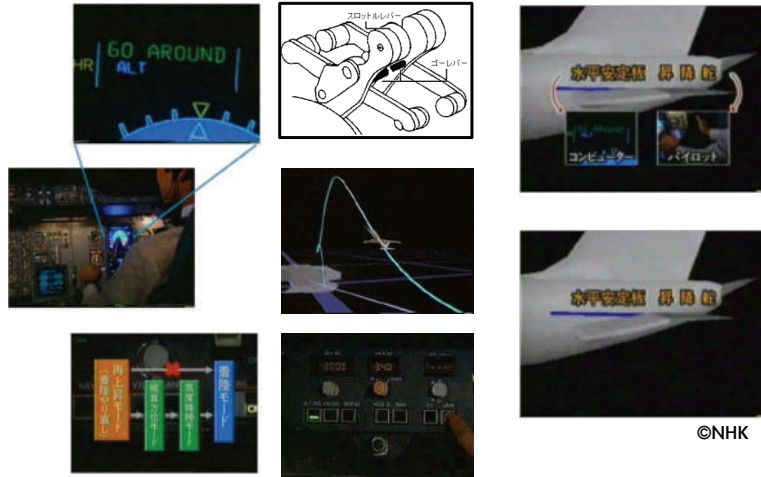
2022/09/05

京都大学技術職員研修 (第47回) 講義



14

1994 China Airlines Flight 140 Airbus A300 B4-622R (Nagoya Airport)



KYOTO UNIVERSITY



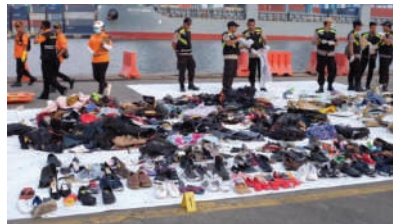
Boeing 737 MAX 8

<https://www.bloomberg.co.jp/news/articles/2018-10-29/PHC9B46KLV701>



<https://ameblo.jp/odamaki3/entry-12447243592.html>

<https://jp.wsj.com/articles/SB1033014332586162370670458522280219850888>



Lion Air crash: Flight JT 610, 189 people died, 29 October 2018.



Ethiopian Airlines Crash: Flight ET302, 157 people died, 12 March 2019.

2022/09/05

京都大学技術職員研修 (第47回) 講義

KYOTO UNIVERSITY



16

Boeing 737 MAX 8



AOA (迎角) センサ (Angle of Attack sensor)



2022/09/05

<https://www.businessinsider.jp/post-187146>

BOEING 737-748 System Differences Volume 1
FLIGHT CONTROLS TRAINING MANUAL

HORIZONTAL STABILIZER TRIM CONTROL SYSTEM - FUNCTIONAL DESCRIPTION - ELECTRIC TRIM

Trim Speed Change
R1192 controls the nose down rate of trim. When the flaps are down, the FCCs energize R1192 and these occur:

- A flaps not up signal goes to the main trim function in the STM
- A signal also goes to the speed change relay in the STM

When the flaps are up, low speed trim is set. Low speed trim moves the stabilizer at 0.2 units per second. When the flaps are not up, high speed trim is set. High speed trim moves the stabilizer at 0.4 units per second.

During autopilot operation the stabilizer trim speed changes. When the flaps are up, the low speed trim is 0.09 units per second. When the flaps are not up, the high speed trim is 0.37 units per second.

Column Outcut Switches and Column Input
The column outcut switches are in the column outcut switch module. There are two modules, captain and F/O. When the pilot moves the elevator column out of the neutral range, the column outcut switches open for trim in a direction opposite to the column movement. One other set of switches let the actuator operate the stabilizer in the same direction as the column movement.

The pilot uses the STAB TRIM override switch to do a bypass of the column outcut switches if the two switches have internal failures.

Maneuvering Characteristic Augmentation System
The maneuvering characteristic augmentation system (MCAS) biases the stabilizer to move in the same pitch direction as the column.

- MCASが作動する最適な状況では、迎え角が10度から12度の範囲に達すると、システムは横四を下に傾けるように水平舵を回転させます。そして高い迎え角が続く場合、システムは10秒ごとにコマンドを繰り返す。
- ヨークの通常の電動トリムコントロールでMCAS駆動スタビライザの動きを止めることが出来ませんが、迎え角が高すぎるとスイッチを放してから5秒以内に再度MCASが作動する。

- Captain and F/O stabilizer trim switches
- R184 (de-energizes)
- R1192 contact
- Signals to the FCCs

<https://ameblo.jp/odamaki3/image-12447243592-14372918243.html>

27-41
January 2017

<https://xtech.nikkei.com/atcli/nxt/column/18/00001/02434/>

京都大学技術職員研修 (第47回) 講義

KYOTO UNIVERSITY



19

Cockpit of Boeing 737 MAX 8



2018年6月、ムンバイの空港で披露された同型機のcockpit (2019年 ロイター/Abhirup Roy)

2022/09/05

京都大学技術職員研修 (第47回) 講義

KYOTO UNIVERSITY



20

M-SHELL Analysis

L	Liveware	自分自身（身体的状況・心理的状況・能力など）
H	Hardware	ハードウェア（道具・設備機器など）
S	Software	ソフトウェア（手順書・マニュアル・規則など）
E	Environment	環境（温湿度・照明・作業特性など）
L	Liveware	周りの人（コミュニケーション・チームワークなど）
m	management	管理（組織・管理体制・雰囲気作りなど）

人間中心のシステムを表現したm-SHELLモデル

(出典 河野龍太郎「ヒューマンエラーを防ぐ技術」)
ICAO SHELL Model がオリジナル

2022/09/05

京都大学技術職員研修（第47回）講義

23

Safety Management of Socio-Technical Systems

エンジンの大型化→取り付け位置→機体重心の変化→失速のリスク

失速のリスクを回避
→MCAS（操縦特性増強システム）

- ・ メーカーからユーザへの説明不足
- ・ 異常を想定した訓練が行われず
- ・ 異常時対応のマニュアルが整備されず

AOA（迎角）センサの誤検知により誤った機体状態をパイロットに提示

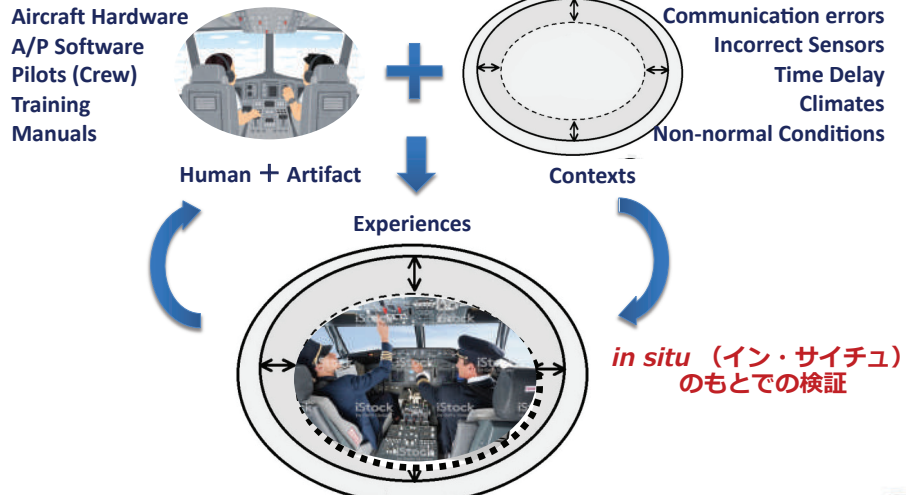
機長と副操縦士の連携不備

2022/09/05

京都大学技術職員研修（第47回）講義

24

ゆらぎを想定した社会技術システムの安全評価



2022/09/05

京都大学技術職員研修 (第42回) 講義

KYOTO UNIVERSITY



25

人的過誤から組織過誤の分析へ

2022/09/05

京都大学技術職員研修 (第47回) 講義

KYOTO UNIVERSITY



26

組織活動における作業変容の 記号論的プロセス分析

https://www.jstage.jst.go.jp/article/trafst/1/2/1_106/pdf

横幹 1 (2), 106-114, 2007

特定非営利活動法人 横断型基幹科学技術研究団体連合

榎木 哲夫, 塚本 智司, 堀口 由貴男, 中西 弘明
京都大学大学院 工学研究科

2022/09/05

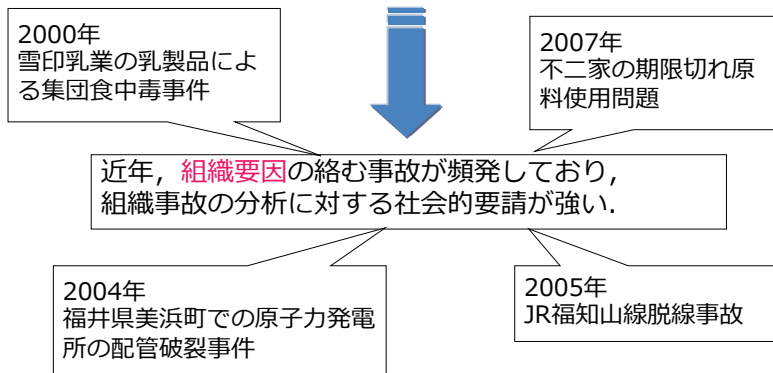
京都大学技術職員研修 (第47回) 講義



研究背景～組織事故～

・ 組織事故

- 事故の隠れた, 本質的原因を組織の中に求めようとする考え方 [J. Reason] .



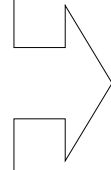
2022/09/05

京都大学技術職員研修 (第47回) 講義



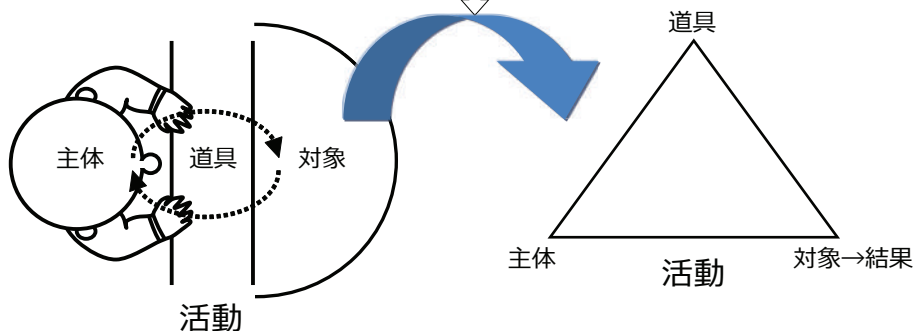
これまでの組織事故解析

- 安全性評価手法として**人間信頼性評価**が著名である.
- 信頼性を**定量的に評価**するシステム的な取り組みが多くなされている.
 - THERP (Technique for Human Error Rate Prediction) :
 - システムを構成する各種コンポーネントの作動・不作為・誤作動などの確率に加え, 人間がとるべき行動から逸脱する確率を評価.
 - CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method) :
 - さらに「状況」や「組織」の要因を考慮に入れた評価.



エンゲストロームの活動理論 (Engeström, 翻訳.1999)

1. 活動が分析単位
2. 対象指向性
3. 媒介性



Vygotskyの心理学に起源を有し,
Engeströmによって発展させられた

Engeström, Y. (1999). (山住勝広, 松下佳代, 百合草禎二, 保坂裕子, 床井良信, 手取義夫, 高橋登, 翻訳). 拡張による学習—活動理論からのアプローチ. 東京: 新曜社.

エンゲストロームの活動理論 (Engeström, 翻訳.1999)

4. 社会的文脈
5. 活動の階層構造

活動

Vygotskyの心理学に起源を有し、Engeströmによって発展させられた

Engeström, Y. (1999). (山住勝広, 松下佳代, 百合草嶺二, 保坂裕子, 床井良信, 手取義宏, 高橋登, 翻訳). 拡張による学習—活動理論からのアプローチ. 東京: 新曜社.

2022/09/05 京都大学技術職員研修 (第47回) 講義

活動理論～4つの矛盾～

各頂点内での矛盾
二重性

「隣接する活動」との間の矛盾

文化的により進んだ中心的活動

より進んだ中心的活動の**対象と動機**を現在優位にある中心的活動に**導入するとき**に現れる矛盾

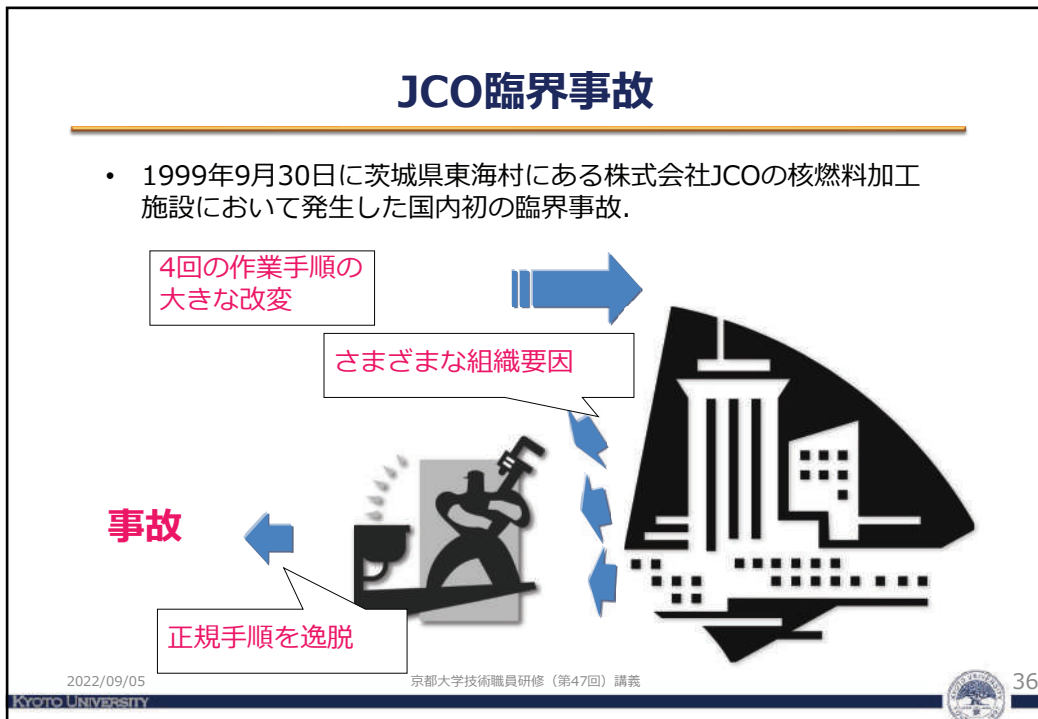
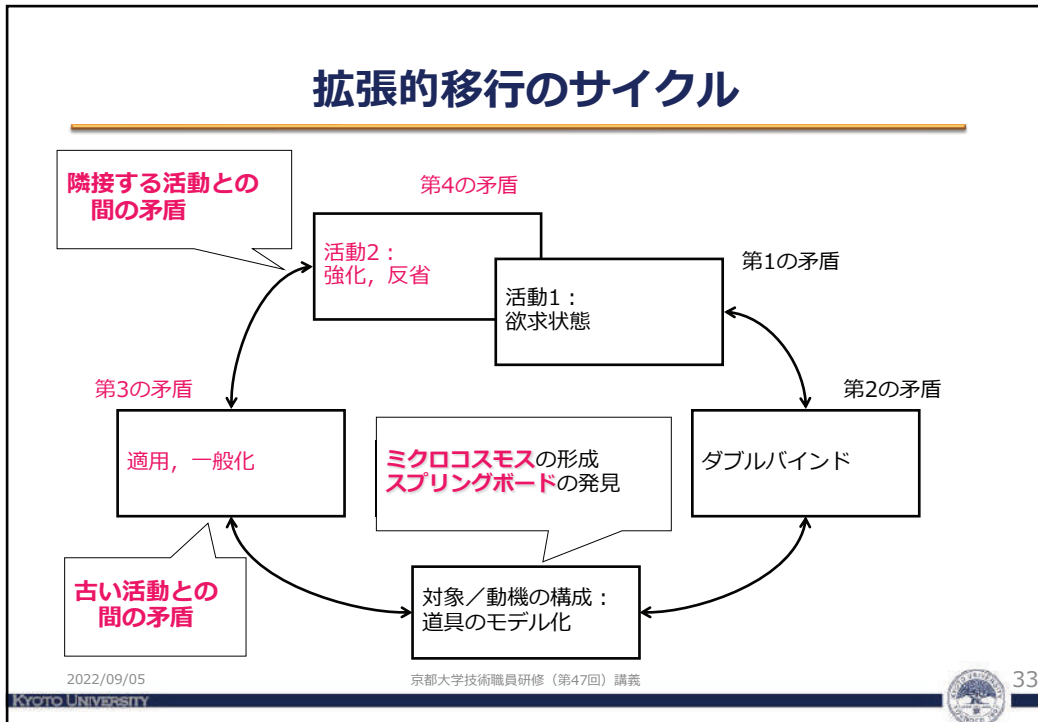
各頂点間の矛盾

中心的活動

対象-活動

Engeström, Y. (1999). (山住勝広, 松下佳代, 百合草嶺二, 保坂裕子, 床井良信, 手取義宏, 高橋登, 翻訳). 拡張による学習—活動理論からのアプローチ. 東京: 新曜社.

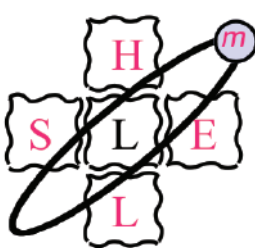
2022/09/05 京都大学技術職員研修 (第47回) 講義



事故からの教訓

「以下の3要因が重畳して存在する環境下で業務改善活動を推進すると、意図に全く反する望まじからざる結果を招くことがある」

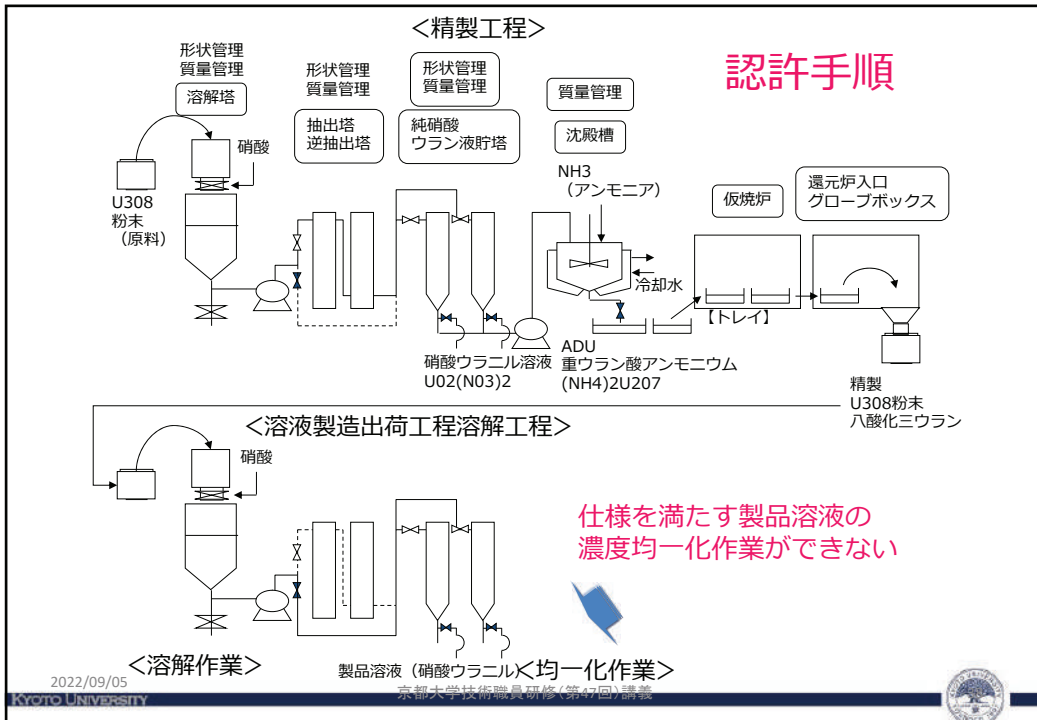
- A. 使い勝手の悪い設備（ユーザビリティ）**
- B. 設備や手順の根拠に関する知識（教育）の付与不足**
- C. 会社管理部門と実務作業部門との乖離**
 - 現場の作業者の改良・変更の提案に対して会社上層部がそれを追認
 - 現場に精通した者が推しすすめる業務改善に間接管理部門がついていけない
 - 現場主体の業務改善活動の負の副作用

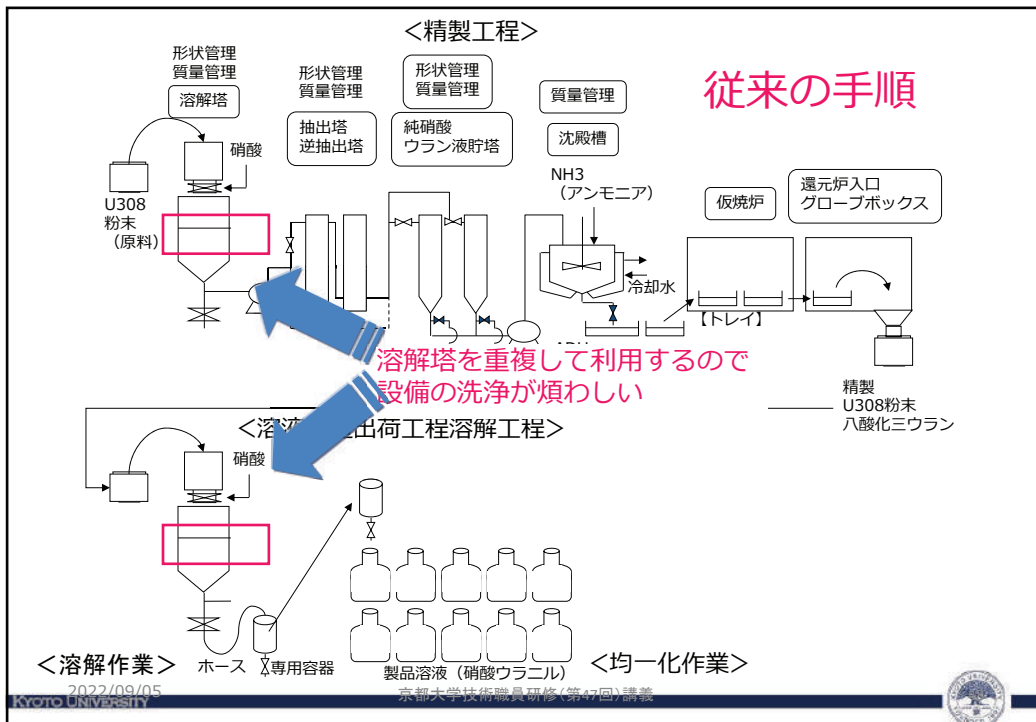
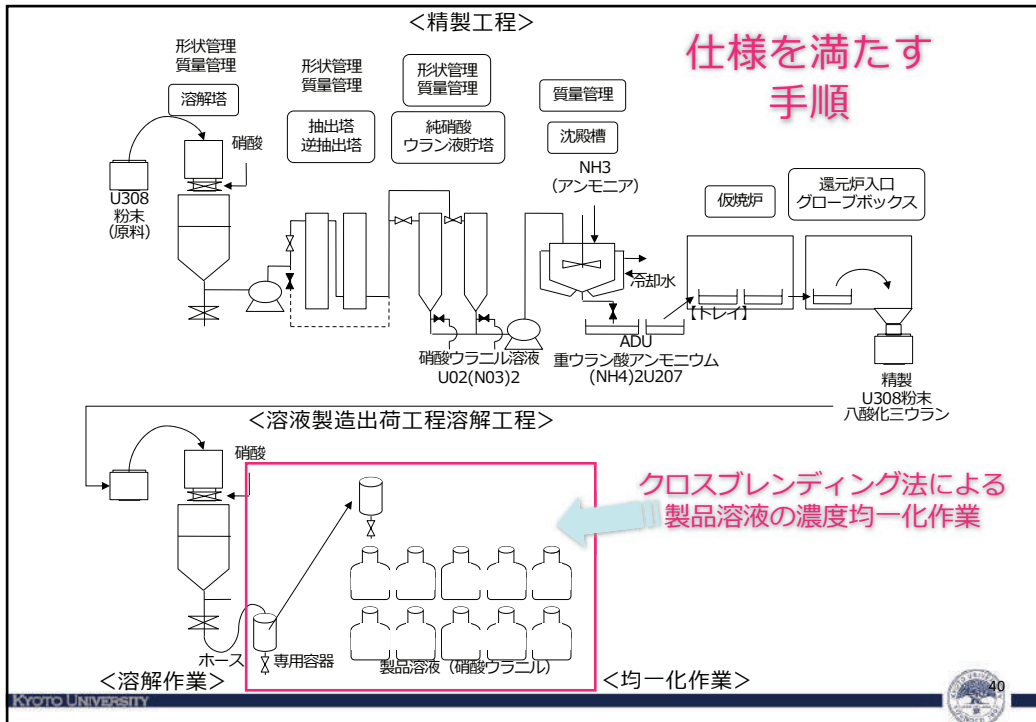


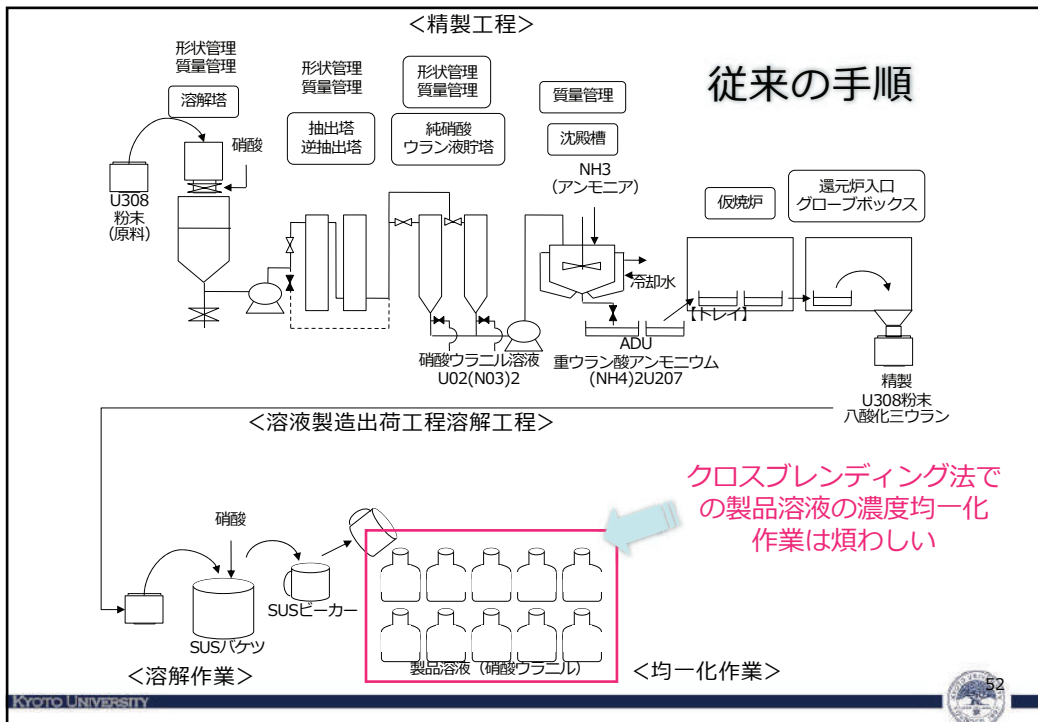
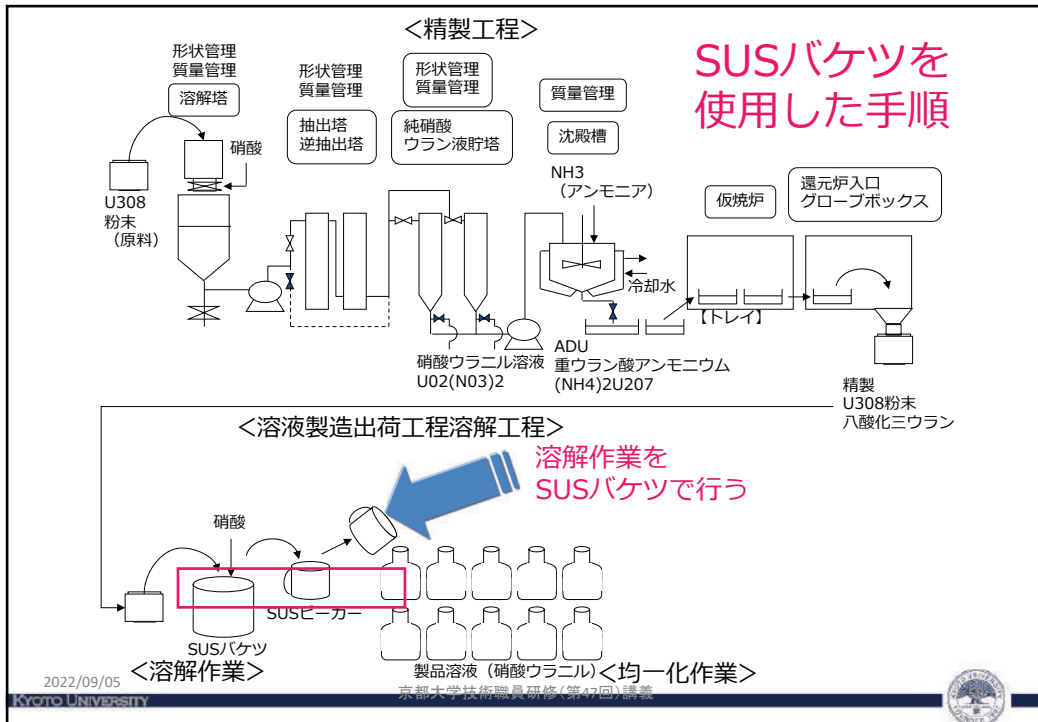
by ICAO, modified by 東電原研

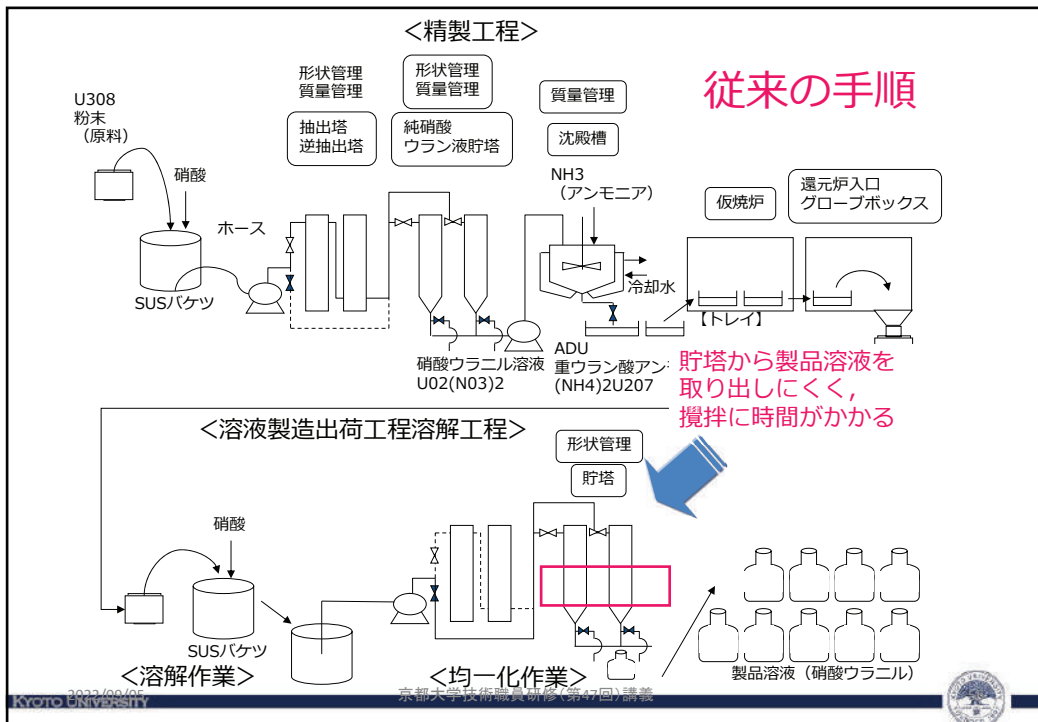
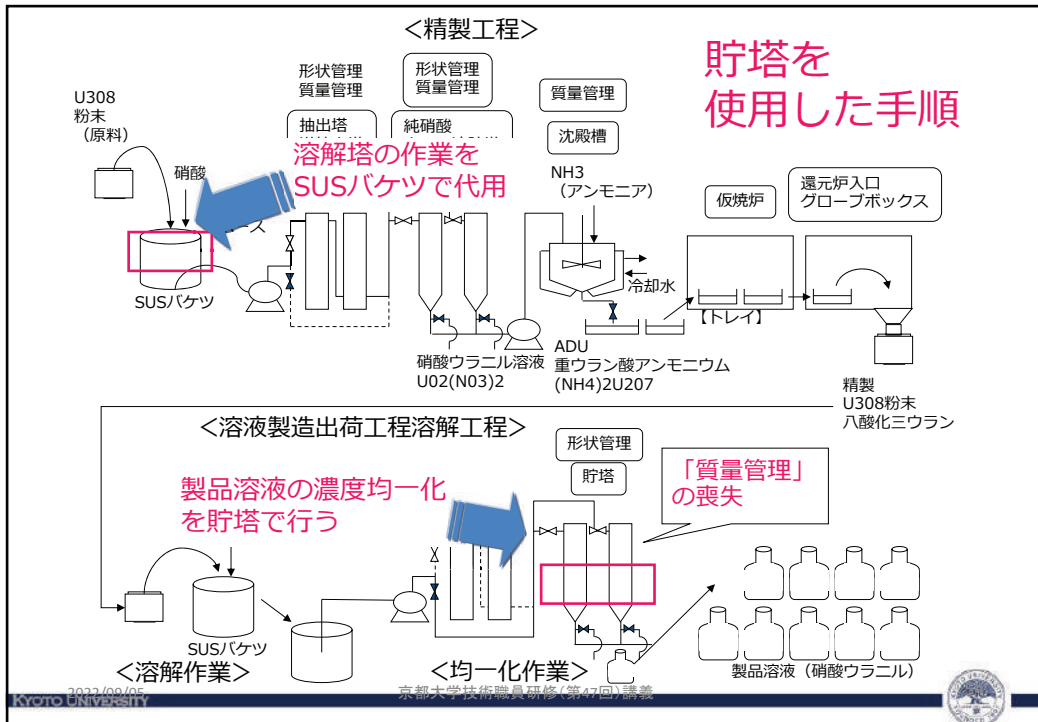
「日常化された逸脱」

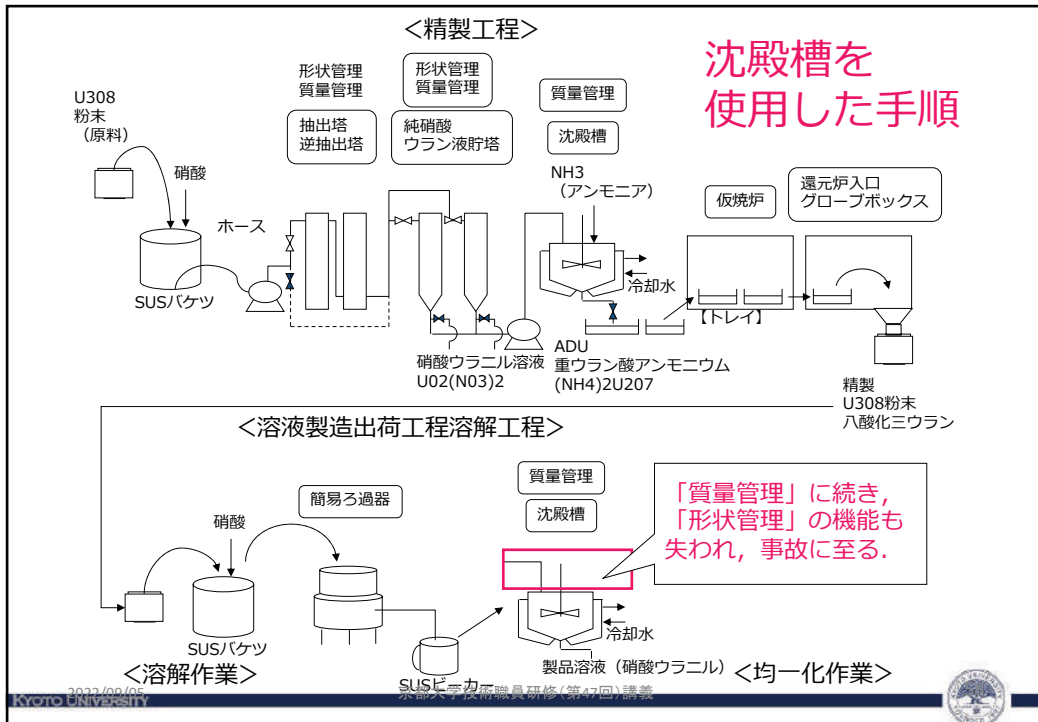
2022/09/05 京都大学技術職員研修（第47回）講義












人間機械系と機能安全について


自動化導入の3つの段階 Three Principles for Introducing Automation

- **やり残し原理** Left-Over Principle


- 自動化できない部分を**人任せ**


- **代償的原理** Compensatory Principle


- 人と自動化の**分業**


- **相補的原理** Complementarity Principle

- 人と自動化の**協働**



2022/09/05
京都大学技術職員研修（第47回）講義

 64

人と機械（自動化）の役割分担

単純作業で自動化は容易
投資効果が見込めない

自動化による作業と意思決定

作業が複雑で自動化は困難
競争力で優位に

人任せ

自動化のレベル ↑

産業用ロボット 自律型セル生産ロボット

↓

人による作業 人による意思決定 作業の複雑さ


自家用車の例 ワイパーの起動
ドアの開閉 ベルト装着

渋滞時の追従走行 レンキョーリング
車庫入れ・縦列駐車 自動停止
障害物検知

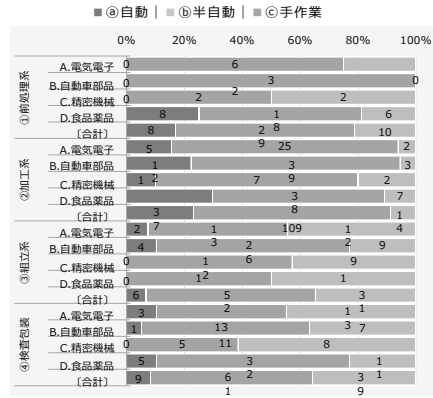
追い越し・カットイン
障害物回避 徐行運転
ドライバー間コンタクト

悪天候走行 悪路走行

2022/09/05
京都大学技術職員研修（第47回）講義

 65

工程区分別・業種区分別 工程自動化状況

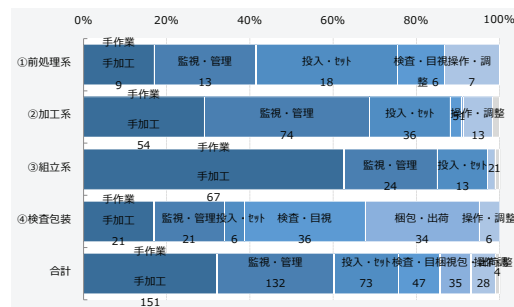


●全体的に、**半自動工**程が**最も多い**。

●半自動含めて自動化が進んでいるのは加工系。最も遅れているのは検査包装。

国内業界別生産工程の自動化に関する調査 (2015年2月 富士経済)

各工程でどこに人手が掛かっているのか



- **組立系工程における手作業・手加工**が最も高い構成比
- 製品ライフサイクルと多品種生産などから**手作業による組立や加工が各業種において必要と認識**されており、それらに対応しうる自動化と、自動化による投資効果(効率化によるコスト削減・生産性向上)が求められていると考えられる。

国内業界別生産工程の自動化に関する調査 (2015年2月 富士経済)

人と機械（自動化）の分業

人とシステムの境界

“わずかな入力で見回りの出力を得る機械システム”

全てを人が実行 ←

ヘラ削り加工
(金属の塑性を利用した加工技術)

2022/09/05
京都大学技術職員研修（第47回）講義

68

本質安全と機能安全の違い

- **本質安全 (intrinsic safety)** : 機械が環境や人間のリスクやハザードを設計段階で低減あるいは除去すること
- **機能安全 (functional safety)** : 許容できないリスクやハザードから環境や人間の安全を守るために、残留リスクに対して機能による安全対策を行うこと
 - リスクを明確に把握するために、どのような安全を確保するのかという目的を明らかにし、それをどうやって行うのかを検討する
 - 機能安全は、機械が本来の目的である機能を果たす上で確保されるべきもの（そもそも機械を使用しなければ安全）
 - 機能を持たせることによって安全を確保しようとするとき、そのことによって別のリスクやハザードが生じないかを考慮

2022/09/05
京都大学技術職員研修（第47回）講義

69

人と機械（自動化）の分業

人とシステムの境界

“わずかな入力で見回りの出力を得る機械システム”
↑
全てを人が実行 ←

ヘラ削り加工
(金属の塑性を利用した加工技術)

2022/09/05 京都大学技術職員研修（第47回）講義

68

本質安全と機能安全の違い

- **本質安全 (intrinsic safety)** : 機械が環境や人間のリスクやハザードを設計段階で低減あるいは除去すること
- **機能安全 (functional safety)** : 許容できないリスクやハザードから環境や人間の安全を守るために、残留リスクに対して機能による安全対策を行うこと
 - リスクを明確に把握するために、どのような安全を確保するのかという目的を明らかにし、それをどうやって行うのかを検討する
 - 機能安全は、機械が本来の目的である機能を果たす上で確保されるべきもの（そもそも機械を使用しなければ安全）
 - 機能を持たせることによって安全を確保しようとするとき、そのことによって別のリスクやハザードが生じないかを考慮

2022/09/05 京都大学技術職員研修（第47回）講義

69

人と機械の協調安全（コラボレーション・セーフティ）

High Communication with High Context Information

Brain science and bio-mimetic robotic control
interactive contents and social interactions
Attention and Situation Awareness

Collaboration Safety

2022/09/05
京都大学技術職員研修（第47回）講義
70

人と機械（自動化）の関係の変遷と「安全」

リスクアセスメントの対象

人の領域	共存領域	機械の領域	
注意力 判断力			Safety 0.0
↓			
注意力 判断力		本質安全 制御安全 機能安全	Safety 1.0
↓			
注意力 判断力 + 協調安全	協調安全	本質安全 制御安全 機能安全 + 協調安全	Safety 2.0

- 人と機械を分離した上で、人は人、機械は機械でそれぞれ安全を確保
- 人と機械の共存領域をなくすことにより、安全のレベルを引き上げ

↓

- 人とモノと環境が協調して構築する安全：協調安全（コラボレーション・セーフティ）

IoT（Internet of Things）により、人とモノと環境を情報を介して相互につなぎ、2つの安全の脆弱領域をもカバーする

2022/09/05
京都大学技術職員研修（第47回）講義
71

Safety 2.0 の概念 by 日経BP社

- **人と機械の共存領域**
 - 機械が人の動きや能力を把握しながら、それに伴うリスクの大きさに応じて的確な動作をする
 - 「止める」か「止めない」かの二者択一ではなく、人と機械の間での情報のやりとりによってきめ細かな運用を実施し、両者の共存を図る
- **人の領域**
 - 体温や脈拍、心拍といったバイタルデータ（生体情報）を常にモニタリング。そこで重大な不調を検知したら、管理者や機械が直ちに安全側に誘導。
 - 人の能力やバイタルデータの把握により人の領域に存在する安全の脆弱部分に対して有効なサポート
- **「止めない安全」**
 - 点検時やメンテナンス時に、機械を止めずにしかも安全に作業が続けられ、“チョコ停”の削減や稼働率の向上など生産性の向上に大きく寄与
- **「見守り安全」**
 - 熟練者の後を引き継ぐ作業者の心強い味方
 - 現場は人に優しく働きやすい環境に、健康管理やストレス管理。
- **「コラボレーション・フェールセーフ」**
 - フェールセーフ：機械自体に故障などの障害時に、機械自身が安全側に制御して安全を確保
 - ↓
 - 人や環境に障害が発生したときに、その情報を受けて機械が人を安全側に誘導して安全を担保
 - ヒト、モノ、環境が全て一緒になって構築していく「和の安全」
 - 安全と経営を両立

2022/09/05 京都大学技術職員研修（第47回）講義

KYOTO UNIVERSITY
72

レジリエントな人間機械系のデザイン

人的要因・技術的要因・組織的要因の絡む複合系

人的ゆらぎ要因

技術的ゆらぎ要因

組織的ゆらぎ要因

作業環境

社会技術システム

例：高齢者運転事故と防止対策

システムの機能低下や機能不全
↓
すべてが正しい方向へ向かうことを保証
||
レジリエンスとしての「和」

- 同じ作業であっても、どのような作業文脈に置かれるかによって、その安全上の健全性は大きく異なる。
- 過去の過誤事例からゆらぎ要因を同定し、シミュレーションすることにより、レジリエントな標準業務手順（SOP）をデザイン（手順の“ストレステスト”）。
- 高齢化社会への対応。

2022/09/05 京都大学技術職員研修（第47回）講義

KYOTO UNIVERSITY
73

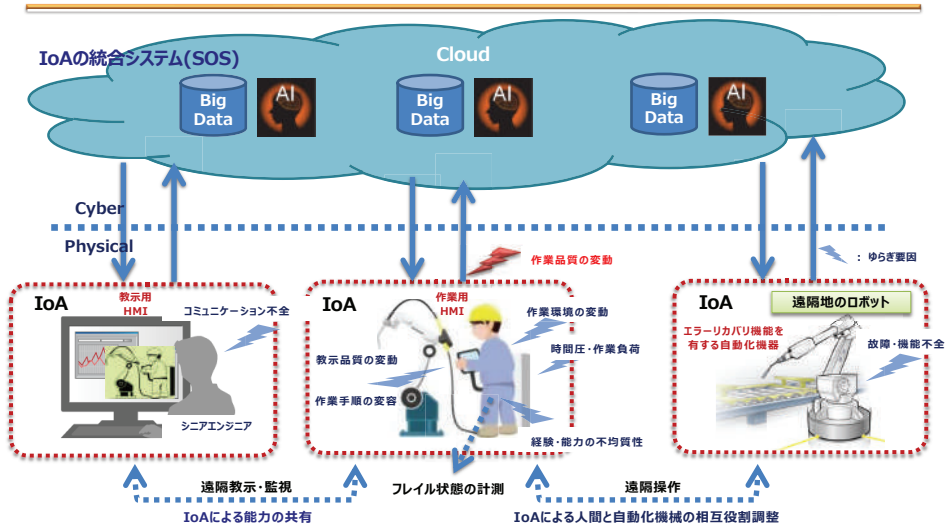
熟練技能の獲得・活用・伝承・創成のための人協調 AI 基盤技術開発の研究

2022/09/05

京都大学技術職員研修 (第47回) 講義



IoA (Internet of Abilities)

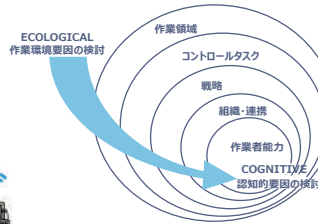


2022/09/05

京都大学技術職員研修 (第47回) 講義



空間／時間を超えた熟練知の共有



IoTによる作業環境との相互作用データの共有

熟練者へのインタビューに対する質的解析

IoAIによる個人の技能遂行データの共有



遠隔メンテナンス
遠隔指示

ヒトのモデリング技術による人間特性の解明

人間がおかれる環境や作業対象の特性に関する認識

2022/09/05

京都大学技術職員研修 (第47回) 講義

KYOTO UNIVERSITY



76



「人と共に進化する次世代人工知能に関する技術開発事業」

熟練者暗黙知の顕在化・伝承を支援する人協調AI基盤技術開発

2020年度～2024年度（予定）

研究開発責任者：榎木哲夫（京都大学）


委託先：国立大学法人 京都大学

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

三菱電機株式会社

https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100176.html

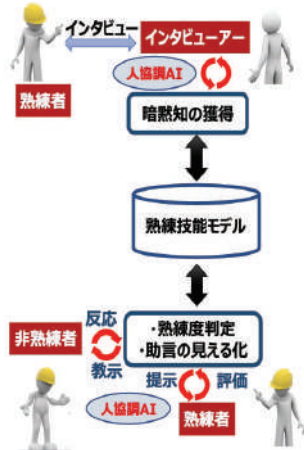
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

2. 研究開発の内容 (1) <https://www.nedo.go.jp/content/100929932.pdf> 

1. 暗黙知の表出・分析・獲得
潜在的暗黙知の顕在化手法として、インタビュアーが積極的に会話に参加する交渉型インタビューを導入し、自然言語解析、マルチモーダル分析、仮説駆動型インタビューモデルを構築してインタビュアーを支援する人協調AI基盤技術を開発

2. 暗黙知を含めた熟練技能モデル化
熟達技能プロセスを都度調整行動まで表現する手法として、機能連鎖モデル (FRAMモデル) を活用した**標準的な熟練技能のモデル化手法**を開発
FRAM : Functional Resonance Analysis Method (機能共鳴解析手法)

3. 感覚的熟練行動の獲得・伝承を促進する
対話型AI
 対話型AIにより構築した熟練行動判定モデルの挙動を反実仮想説明によって、**訓練の意味理解を促進しながら**技能を効率的に習得できる技能伝承システム基盤開発



厚板アンコイラー作業・金型磨き作業を実例に、熟練者暗黙知を顕在化し、技能伝承支援を実証

78

暗黙知の階層

製造業などにおける**熟練技能の技能継承**問題
 ⇨技能者が持つ**暗黙知**が継承を困難に


聞き取り調査

インタビューにより、潜在的な暗黙知を言語化

◆ 暗黙知の階層 [森, 2013]

第一層	観察での記述が可能
第二層	技能者が自覚しているインタビューにより言語化が可能
第三層	技能者が自覚していないインタビューにより言語化が可能
第四層	言語化は不可能

暗黙知の第三層の言語化を促すインタビュー戦略の構築

2022/09/05
京都大学技術職員研修 (第47回) 講義
 80

暗黙知の教科書づくり（形式知化）の失敗

- 【旋盤加工】どれくらいの力で押しなさいとかは言えませんし、わしゃよう書きませんわ。ならこれは実際にやってみて、やってみて、かましたわい、かましたらびるじゃないか、もうちょっとここで押し込めや、ちゅうわけです。つまり…身体で覚えなさい、やってみて覚えなさい、と言うことです。…理屈ではわかるみたいですね。いざやってみてどうかやね。実際に自分がぶち当たってみて、経験せねば上達しないです。
- 【金型磨き】私会話しもってやってますねん。というのは、こういうとこやるのに何が必要か、て、工具を選定しなきゃなりません。そすると、おい何でやる、これでどうしてやるか、わしもそう思う、ほなちょっとやってみよか、とやってみて、もしもその工具の選定を間違ったら、きつちこつち（＝工具）が答え出してくれるんです。おい、エバタさん、これではちょっとあかんで、もつと他の方法でやるか、きつちこつちが言うてくれるんです。それでまた他の方法に変えるんです。
- 【へら絞り】ほんの少しの力加減で板の厚さが凸凹になったり、薄く伸びてしまうんです。へらを板に当てる時の音や反発力などわずかな違いを感じ取り、微妙に加減しながら絞っていく。金属の板によって、伝わり方がまた微妙で異なりますからね。絞っているこの感触で持ってへらが自分の方にここがついているよと教えてくれるんですね。まあ音で表現するなら振動でしょうね。



「伝えあうこと、やりとりすること」の価値

2022/09/05

京都大学技術職員研修（第47回）講義

KYOTO UNIVERSITY



本プロジェクトでの「暗黙知」

- 暗黙知 = 状況依存性
 - あらかじめルールとして規定された知識を有しなくても、場の状況に臨機応変に反応して対処することができる。
 - どんな時にどういう信号を感じ得るかを一般的に規定することはできないが、身体が環境の何に気づいて、何を感じているのか、どう動いているのか、そして、その時にどんな体感を得ているのかを、できるだけ意識にのぼらせて言葉で表現させてみる。
- 会話は、話し手と聞き手が協力して作り上げる**共同の相互行為**による産物。
 - 会話の聞き手は、受動的に情報を受信するだけの存在ではなく、話し手の発話を受け止め、様々な反応を返す。
- 語りにくさへの共鳴
 - 絶えず流暢に語りを進めることができる訳ではなく、語りの最中にしばしば言い淀む（語りにくさをあらわにする）
 - 語りたことがあるけれど、それがうまく表現できないというジレンマを抱えている状態。そのとき聞き手はどのような反応をすることで、話し手の語りに寄り添った問い合いをとることができるかのインタビューモデルを構築。

着眼と選択と感得

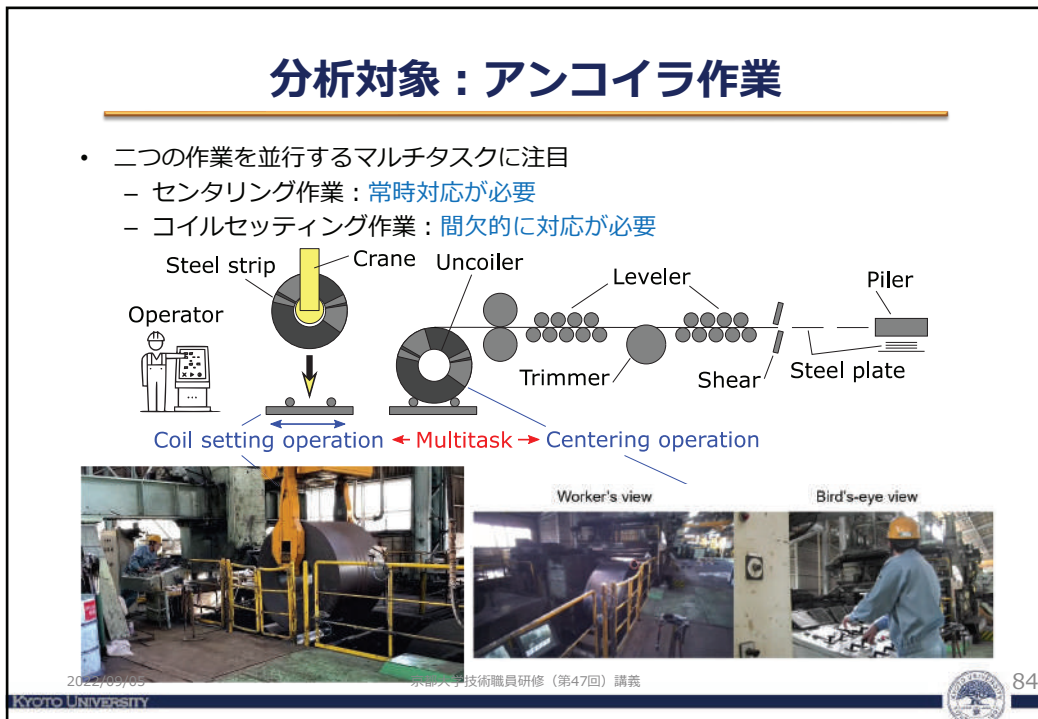
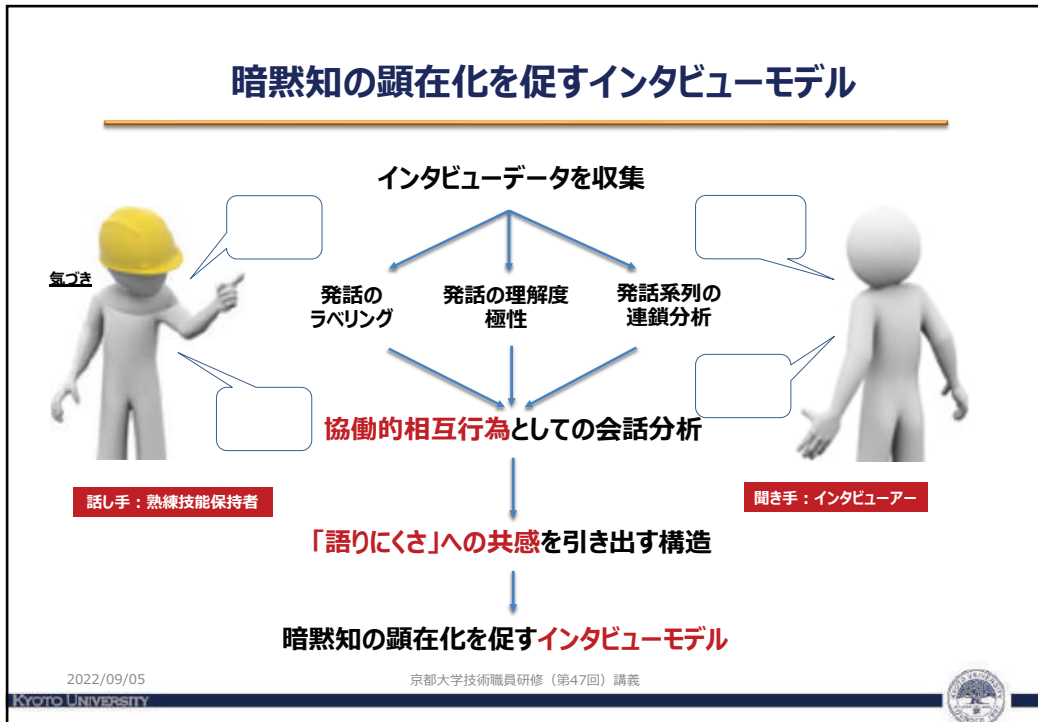


2022/09/05

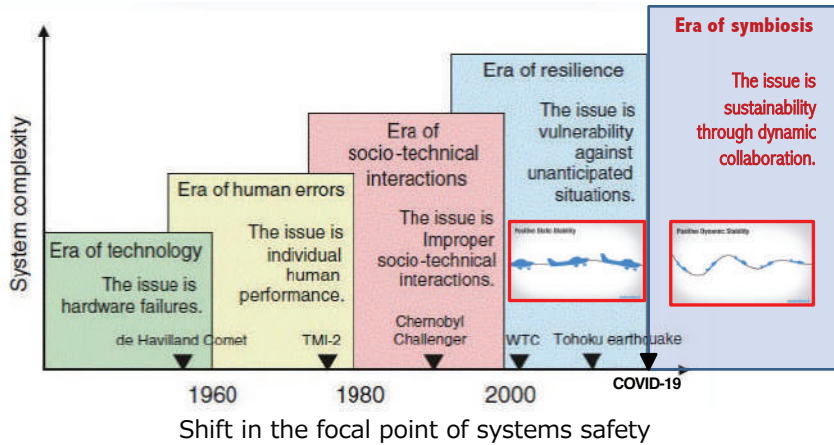
京都大学技術職員研修（第47回）講義

KYOTO UNIVERSITY





さいごに



2022/09/05

京都大学技術職員研修 (第47回) 講義



117

「我々は信じる。人間を労働から追い出す機械を新たに発明する才能があるのなら、その人間を労働へと戻らせる才能もまた人間にはあるだろう。」

John F. Kennedy (1962年)

ご静聴ありがとうございました

京都大学 榎木 哲夫

sawaragi@me.kyoto-u.ac.jp

<http://www.syn.me.kyoto-u.ac.jp/ja/>

2022/09/05

京都大学技術職員研修 (第47回) 講義

