

# 「ソフトウェアエンジニアリングの国際動向」レポート

2024年4月8日

独立行政法人情報処理推進機構

デジタル基盤センター

デジタルエンジニアリング部

ソフトウェアエンジニアリンググループ



- ◆ サマリー
- ◆ はじめに
- ◆ 調査の前提
- ◆ ソフトウェアエンジニアリングの国際動向
  - カーネギーメロン大学ソフトウェアエンジニアリング研究所(CMU-SEI)
  - フランス国立情報学自動制御研究所(INRIA)
  - フラウンホーファー研究機構(Fraunhofer-Gesellschaft)
- ◆ おわりに

# サマリー

- ◆ 昨今ソフトウェアを取り巻く環境が大きく変化しているが、日本はまだ旧態依然の開発が多く、日本の競争力維持のためには、世界の潮流に即して日本のソフトウェアエンジニアリングを抜本的に見直していく必要がある。
- ◆ 今回、世界の潮流を把握するために、欧米の研究機関を中心に、ソフトウェアエンジニアリングに関する国際動向の調査を実施した。
- ◆ 「モデルベースの開発」、「アジャイル開発」、「DevSecOps」、「コンポーネントベースの開発やOSS活用」、「AI活用」などが共通のトピックとして多く挙がっており、これらは世界の潮流となっている。
- ◆ 日本においても、これらの潮流に追従し、世界標準のソフトウェアエンジニアリングに変革していくとともに、競争力を高めていく必要がある。
- ◆ 今後、引き続き国際動向の詳細な調査を実施していくとともに、日本のソフトウェアエンジニアリングの変革に向けた取り組みを予定している。

はじめに

- ◆ 昨今ソフトウェアを取り巻く環境が大きく変化してきている。

見積もり明確化への要求

AI、ノーコード、ローコードなどの開発環境の変化

パッケージなどによる最適化された業務の導入

アジャイルなどの新たな開発プロセスの登場

24時間稼働などメンテナンス環境の変化

# はじめに (2/2)

- ◆ しかしながら、日本のソフトウェア産業においては、事業会社が特定のITベンダに発注して行うフルスクラッチ開発や人月ベースでの見積もり、ドキュメントベースでの設計など、旧態依然での開発が多い。
- ◆ そこでIPAでは、国内の状況や国際的な最新動向を踏まえた、今後の日本のソフトウェアエンジニアリングの在り方について検討を行っている。
- ◆ 本稿は、最新動向の調査の第一歩として、最先端のソフトウェアエンジニアリング研究に取り組んでいる欧米の研究機関を中心に、机上文獻調査やインタビュー等を実施し、最新動向をまとめたものである。

注) 今回のレポートは、調査結果のみを記載したものであり、調査結果に対する解説や分析などは実施していない。

# 調査の前提



- ◆ 調査観点
  - 机上文献調査：各機関の最新研究トピック等
  - インタビュー：注目しているトピックや、そのトピックにおける欧州の状況等
- ◆ 調査対象機関

	調査対象機関	対象国	調査方法
1	カーネギーメロン大学ソフトウェアエンジニアリング研究所(CMU-SEI)	アメリカ	机上調査
2	フランス国立情報学自動制御研究所(INRIA)	フランス	机上調査 インタビュー
3	フラウンホーファー研究機構(Fraunhofer-Gesellschaft)	ドイツ	机上調査 インタビュー

- ◆ 調査期間：2024年2月～2024年3月

# ソフトウェアエンジニアリングの国際動向

カーネギーメロン大学

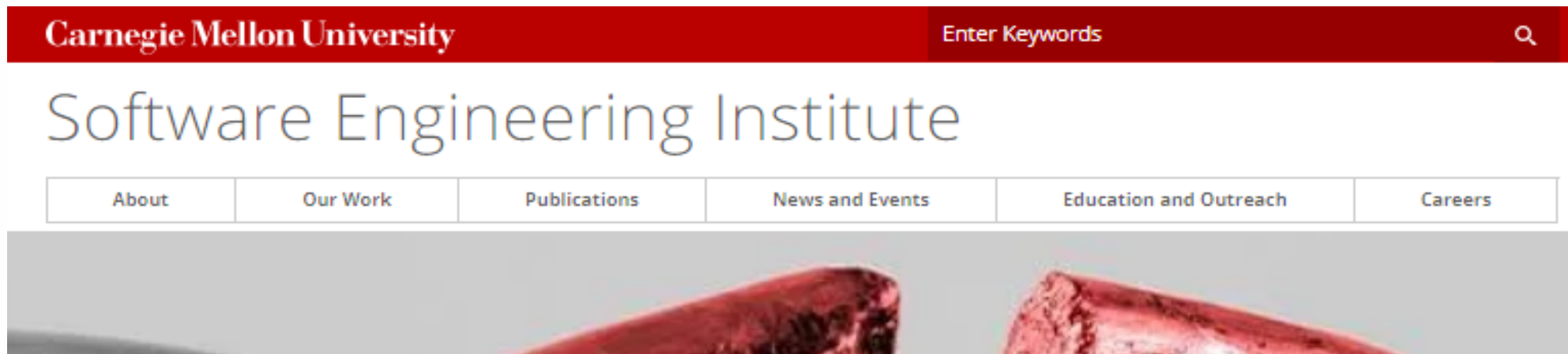
(Carnegie Mellon University, CMU)

ソフトウェアエンジニアリング研究所

(Software Engineering Institute, SEI)

## ◆ CMU-SEIの概要

- CMUは、アメリカ合衆国に拠点を置く、研究大学であり、特に情報工学の分野で世界を牽引する機関である。
- SEIは、CMU内に拠点を置く、米国国防総省の連邦政府資金によって運営されている研究開発センターであり、ソフトウェアエンジニアリング、サイバーセキュリティ、AIエンジニアリングなどの最先端の研究を行っている。



※出典元

<https://www.cmu.edu/about/index.html>

<https://www.sei.cmu.edu/about/index.cfm>

CMU-SEIは、研究トピックとして以下の16個を挙げている。

1. アジャイル
2. AIエンジニアリング
3. クラウドコンピューティング
4. サイバーセキュリティ人材開発
5. サイバーセキュリティセンター開発
6. サイバーセキュリティエンジニアリング
7. DevSecOps
8. エッジコンピューティング
9. エンタープライズ・リスク&レジリエンス・マネジメント
10. インサイダー脅威
11. 量子コンピューティング
12. マルウェア分析のためのリバースエンジニアリング
13. セキュア開発
14. セキュリティの脆弱性
15. 状況認識
16. ソフトウェアアーキテクチャ

※出典元

<https://www.sei.cmu.edu/our-work/all-topics/index.cfm>

CMU-SEIが2021年に示したソフトウェアエンジニアリングの研究開発ロードマップでは、以下の6つの研究軸が挙げられている。

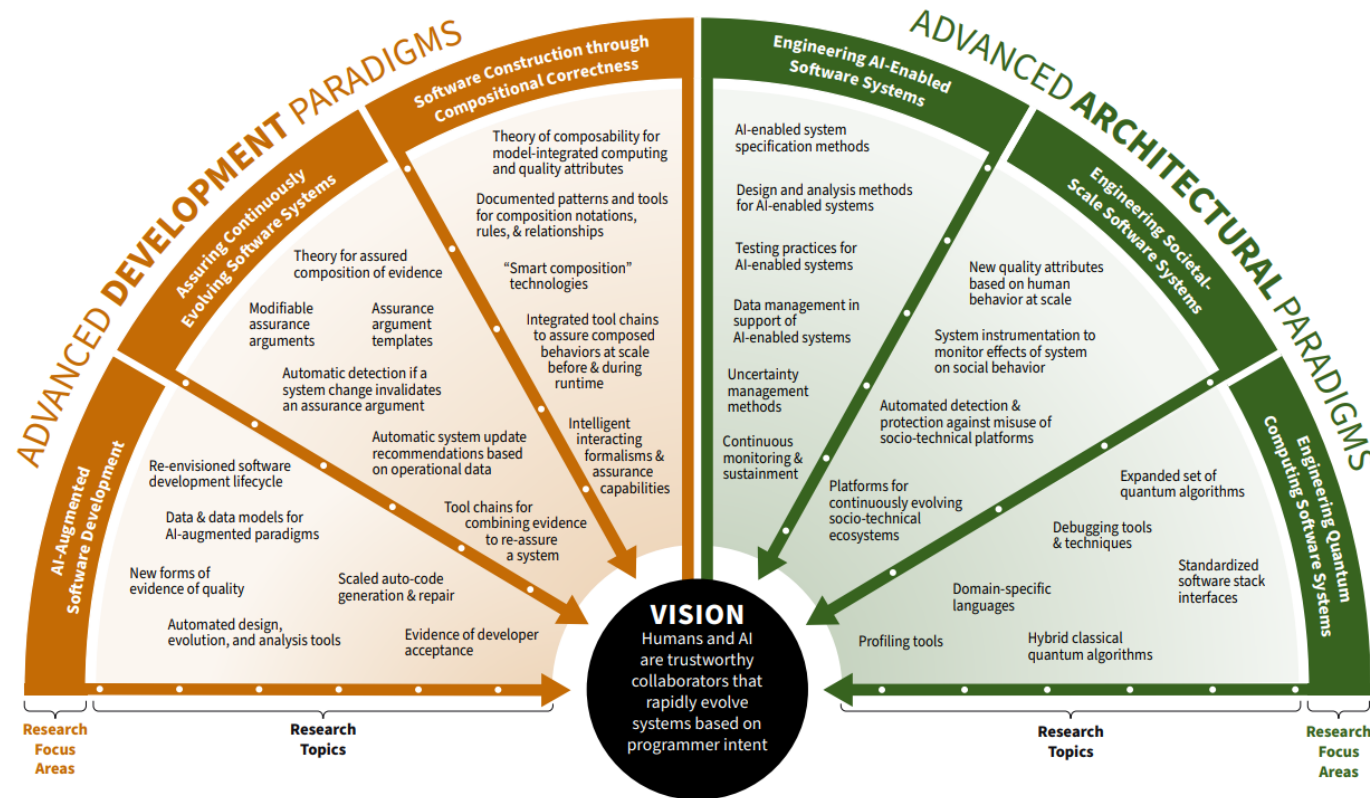
- ① AIを活用したソフトウェア開発  
(AI-Augmented Software Development)
- ② 継続的に進化するソフトウェアシステムの保証  
(Assuring Continuously Evolving Software Systems)
- ③ 構成の正しさによるソフトウェア構築  
(Software Construction through Compositional Correctness)
- ④ AIソフトウェアシステムのエンジニアリング  
(Engineering AI-Enabled Software Systems)
- ⑤ 社会技術システムのエンジニアリング  
(Engineering Socio-Technical Systems)
- ⑥ 量子コンピューティング・ソフトウェアシステムのエンジニアリング  
(Engineering Quantum Computing Software Systems)

※出典元 : Architecting the Future of Software Engineering: A National Agenda for Software Engineering Research & Development  
<https://insights.sei.cmu.edu/library/architecting-the-future-of-software-engineering-a-national-agenda-for-software-engineering-research-development/>



研究開発ロードマップ：

今後10~15年程度のビジョン、およびそこに至るまでの研究テーマや重点エリア



※出典元：Architecting the Future of Software Engineering: A National Agenda for Software Engineering Research & Development  
<https://insights.sei.cmu.edu/library/architecting-the-future-of-software-engineering-a-national-agenda-for-software-engineering-research-development/>

また同レポートでは、今後のアクションとして以下の提言が記載されている。

- ◆ Research Recommendations
  - Enable AI as a Reliable System Capability Enhancer.
  - Develop a Theory and Practice for Software Evolution and Re-Assurance at Scale.
  - Develop Formal Semantics for Composition Technology.
  - Mature the Engineering of Societal-Scale Socio-Technical Systems.
  - Catalyze Increased Attention on Engineering for New Computational Models, with a Focus on Quantum-enabled Software Systems.
- ◆ Enactment Recommendations
  - Ensure investment priority reflects the importance of software engineering as a critical national capability.
  - Institutionalize ongoing advancement of software engineering research.
  - Develop a strategy for ensuring an effective workforce for the future of software engineering.

※出典元 : Architecting the Future of Software Engineering: A National Agenda for Software Engineering Research & Development  
<https://insights.sei.cmu.edu/library/architecting-the-future-of-software-engineering-a-national-agenda-for-software-engineering-research-development/>



# フランス国立情報学自動制御研究所 (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, INRIA)

## ◆ INRIAの概要

- INRIAは、コンピューターサイエンスなどを専門とするフランスで唯一の国立研究機関である。研究分野としては、ネットワーク、画像処理、自動制御、シミュレーションなど多岐にわたる。
- ソフトウェア関連の研究としては、主にINRIAのプロジェクトチームである「DIVERSE」と「EVREF」の2つのチームが取り組んでいる。



※出典元

<https://www.inria.fr/en/inria-ecosystem>  
<https://www.inria.fr/en/diverse>  
<https://www.inria.fr/en/evref>

## ◆ DIVERSEの3つの研究軸 (1 / 2)

### ① ソフトウェア言語工学 (Software Language Engineering)




※出典元

<https://radar.inria.fr/report/2023/diverse/index.html#DIVERSE-RA-2023-uid28>

## ◆ DIVERSEの3つの研究軸 (2 / 2)

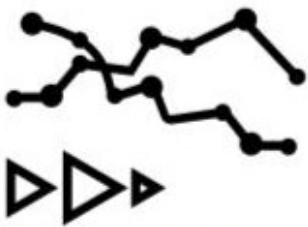
- ② ソフトウェアとシステムにおける空間・時間の変化  
(Spatio-temporal Variability in Software and Systems)
- ③ ソフトウェアとシステムのためのDevSecOpsとレジリエンスエンジニアリング  
(DevSecOps and Resilience Engineering for Software and Systems)

②



**Deep Software Variability**

- Cross-layer configuration
- Configuration assistance
- Program specialisation



**Continuous Software Evolution**


- Language/software co-evolution
- Software/test/APIs co-evolution
- Software/dependencies and deployment descriptors co-evolution

③



**Secure & resilient architecture**

- Vulnerability detection in MBSA
- Autonomic computing
- Data-centric applications



**Smart CI/CD**

- Supply chain analysis
- CI/CD Assistant
- Software debloating
- Scalable CI/CD



**Secure Supply Chain**

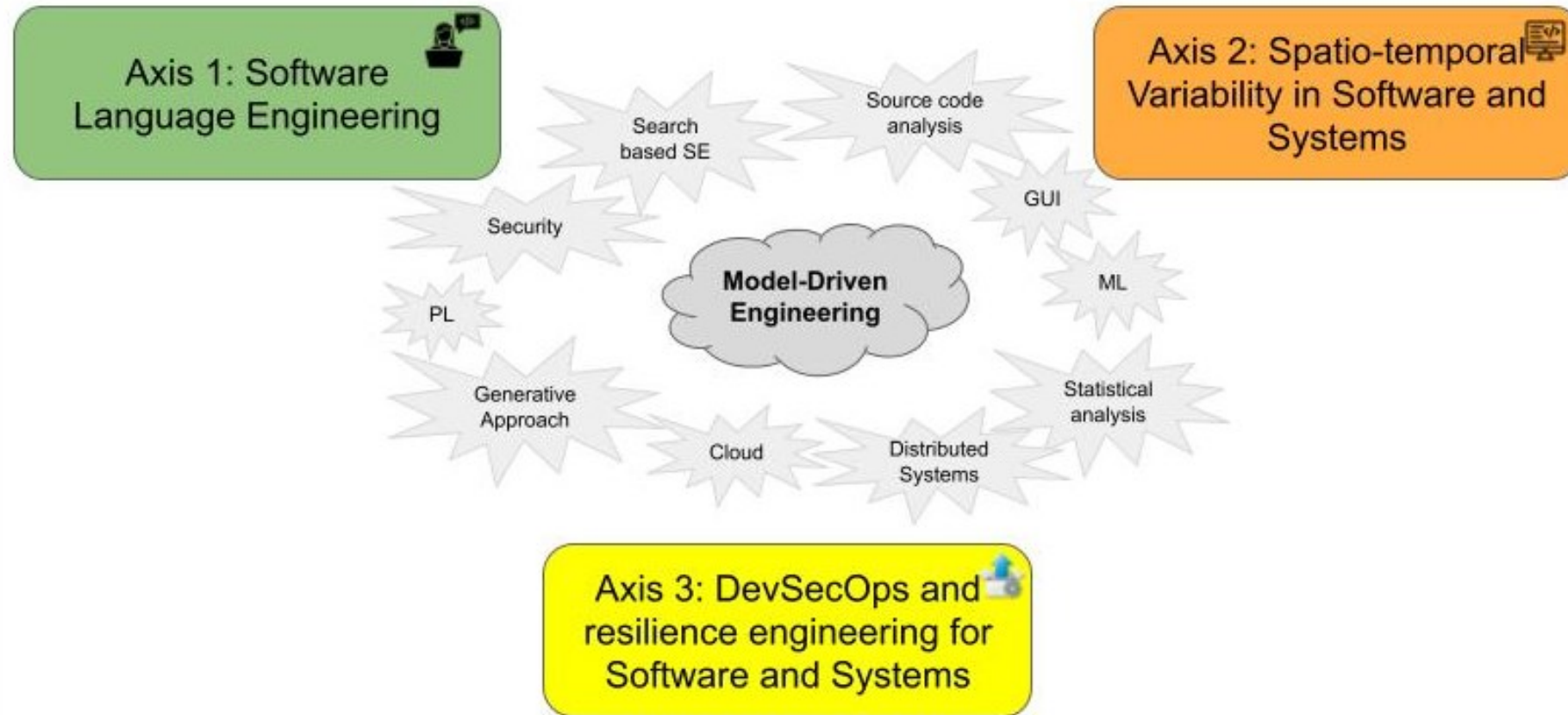
- Secure-by-design
- Code/binary vulnerability analysis
- Dependencies and deployment descriptors security analysis

※出典元

<https://radar.inria.fr/report/2023/diverse/index.html#DIVERSE-RA-2023-uid28>



## モデル駆動型エンジニアリングを中心とした、DIVERSEの3つの研究軸の概念図



※出典元

<https://radar.inria.fr/report/2023/diverse/index.html#DIVERSE-RA-2023-uid28>

その他、DIVERSEは研究に関連するキーワードとして以下を挙げている。

- |                      |                     |                      |
|----------------------|---------------------|----------------------|
| 1.動的構成制御             | 9.コンポーネントベース設計      | 17.アクセスコントロール        |
| 2.Web                | 10.経験的ソフトウェア工学      | 18.プライバシー強化テクノロジー    |
| 3.クラウド               | 11.ソフトウェアのメンテナンスと進化 | 19.持続可能な開発           |
| 4.Fog, Edge          | 12.ソフトウェアテスト        | 20.ソフトウェア産業          |
| 5.オブジェクト指向プログラミング    | 13.資源管理             | 21.IoT               |
| 6.ドメイン固有言語           | 14.マルウェア解析          | 22.情報システム            |
| 7.ソフトウェアエンジニアリング     | 15.機器とソフトウェアのセキュリティ | 23.組み込みシステム          |
| 8.ソフトウェアアーキテクチャ・デザイン | 16.認証               | 24.スマートビル用センサーネットワーク |
|                      |                     | 25.コンピューターサイエンス      |

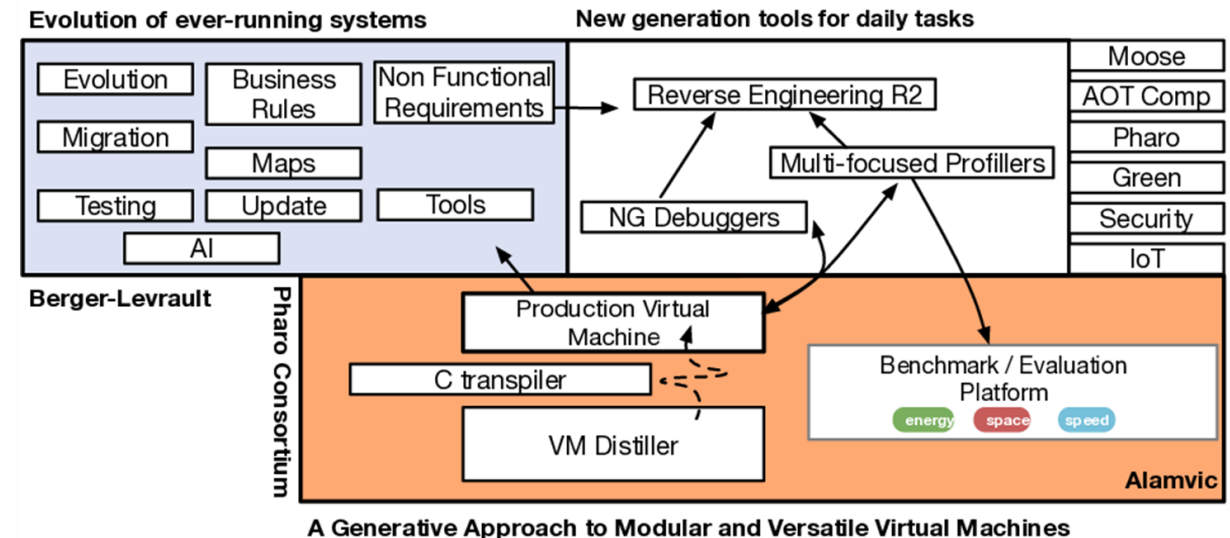
※出典元

<https://radar.inria.fr/report/2023/diverse/index.html#DIVERSE-RA-2023-uid28>

- ◆ EVREFは2023年にフランスのソフトウェア発行者のBerger-Levraultと共同で発足したプロジェクトチーム。

- ◆ EVREFの3つの研究軸

- ① 常時稼動システムの進化  
(Evolution of Ever-running Systems)
- ② 日常タスクに対する次世代ツール  
(New Generation Tools for Daily Tasks)
- ③ 仮想マシンへの生成的アプローチ  
(A Generative Approach to Modular and Versatile Virtual Machines)



※出典元

<https://www.inria.fr/en/berger-levrault-and-inria-launch-dedicated-software-engineering-team>

<https://radar.inria.fr/report/2023/evref/index.html#EVREF-RA-2023-uid1>

## DIVERSE、EVREFに対するインタビュー結果：

- ◆ 両チームとも「モデリング」を軸とした研究を行っており、モデリングを重視している。  
モデリングに関する主なコメント：
  - フランスでは大企業を中心にモデリングツールを用いた設計が普及している。
  - モデリングを行うことで早期のセキュリティリスク分析や様々なステークホルダーの意見を1つにすることが可能となる。
  - モデリング言語としてはSysMLが主流だが、ドメイン固有の情報を表現するため、独自のモデリング言語を開発する動きもある。
- ◆ その他着目しているトピックとして「OSS」、「アジャイル」が挙げられた。  
主なコメント：
  - フランスでは企業が開発したソフトウェアをオープンソース化することが多いと感じる。オープンソース化することで、開発やイノベーションのコストを分散することができる。
  - フランスにおいてはアジャイル開発がメジャーであり、ウォーターフォール開発は縮小していると感じる。



# フラウンホーファー研究機構 (Fraunhofer-Gesellschaft)

## ◆ Fraunhofer 研究機構の概要

- ドイツ各地に76の研究所を構える、科学技術分野における欧州最大の応用研究機関。日本にも代表部が設置されており、国際的な活動も行っている。
- ソフトウェアエンジニアリングの分野では、Fraunhofer 研究機構内の実験ソフトウェアエンジニアリング研究所(Institute for Experimental Software Engineering, IESE)やソフトウェア・システムエンジニアリング研究所(Institute for Software and Systems Engineering, ISST)が中心となって研究を行っている。



Fraunhofer Institute for Experimental Software Engineering IESE



Fraunhofer Institute for Software and Systems Engineering

※出典元

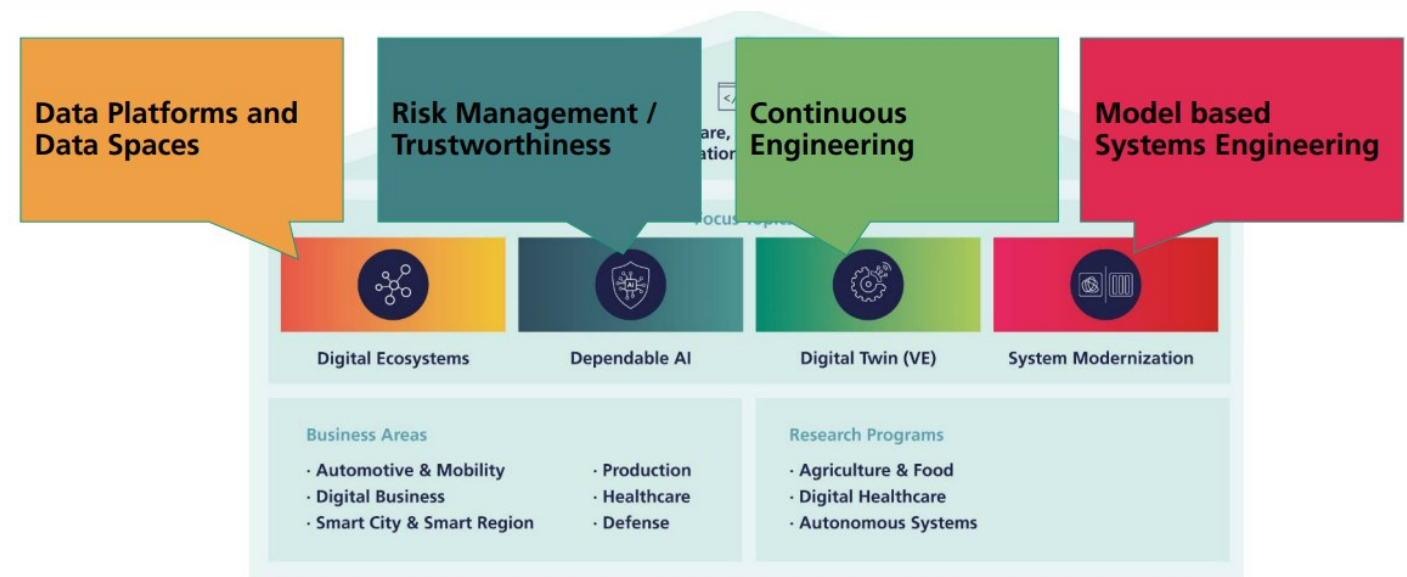
<https://www.fraunhofer.jp/ja/aboutus/FhG.html>

<https://www.iese.fraunhofer.de/en.html>

<https://www.isst.fraunhofer.de/en.html>

- ◆ IESEはソフトウェアとシステムのエンジニアリングを専門としており、ソフトウェアエンジニアリングのライフサイクル全体をカバーしている。
- ◆ IESEでは以下の4つの重点トピックに取り組んでいる。

- ① デジタルエコシステム  
(Digital Ecosystems)
- ② ディペンダブルAI  
(Dependable AI)
- ③ デジタルツイン  
(Digital Twin (VE))
- ④ システムモダナイゼーション  
(System Modernization)

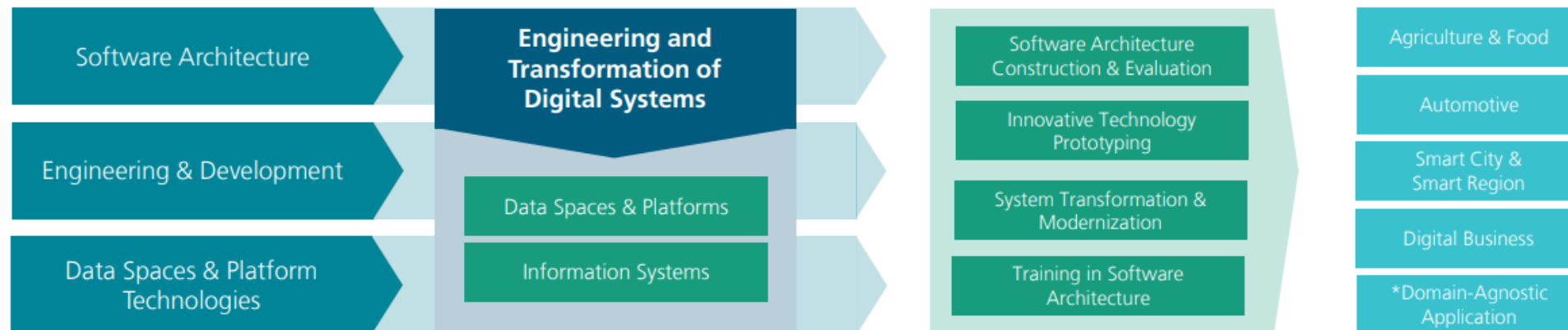


※出典元  
<https://www.iese.fraunhofer.de/en/services.html>  
IESE提供資料

- ◆ また、IESEは業種ドメインに特化した応用技術の他、「Architecture-Centric Engineering (ACE)」にも重点を置いている。

## Architecture-Centric Engineering (ACE)

Research and focus topics



※出典元  
IESE提供資料

- ◆ ISSTはデータスペースを中心とした研究機関ではあるが、データスペースの周辺技術としてソフトウェアエンジニアリングにも取り組んでいる。  
以下の3つをソフトウェアエンジニアリング関連の重点トピックに挙げている。
  - ① 技術的な構想とアーキテクチャ開発  
(Technical conception and architecture development)
  - ② システムコンポーネントの開発  
(Development of system components)
  - ③ ソフトウェア開発プロセスにおけるコンサルティングサービス  
(Consulting services in the software development process)
- ◆ また、その他の注力しているトピックとしては以下を挙げている。
  - オープンソース
  - DevSecOps
  - アジャイル開発

※出典元  
<https://www.isst.fraunhofer.de/en/expertise/software-engineering.html#1>  
ISST提供資料

## IESE、ISST に対するインタビュー結果

- ◆ ソフトウェアエンジニアリングのライフサイクル全般に関わる調査研究をしており、両者とも特に「アジャイル」、「DevSecOps」、「AI活用」、「OSS」に着目している。

### 注目トピックに関する主なコメント：

- ドイツにおいては、アジャイル、DevSecOps、OSSが企業で広まってきている。
- ソフトウェア開発へのAI活用は重要なテーマになると考えている。ヨーロッパにおいても、AIの活用に関する議論が活発である。

### その他コメント：

- ドイツでは大企業はソフトウェア開発を内製化しようとする動きはあるが、東欧などコストが安い国に開発をアウトソーシングすることはまだ多くある。
- ドイツ政府が主導となってソフトウェアエンジニアリング関連の普及活動をするのはあまりない。企業がソフトウェアは競争力の源泉であり価値であると理解して、自発的に取り組んでいる。

おわりに



- ◆ 今回調査した研究機関が着目している主なトピック
  - モデルベースの開発
  - アジャイル開発
  - DevSecOps
  - コンポーネントベースの開発やOSS
  - AI活用
- ◆ 日本においても、これらの潮流に追従し、世界標準のソフトウェアエンジニアリングに変革していくとともに、競争力を高めていく必要がある。
- ◆ 今後、引き続き国際動向の詳細な調査を実施していくとともに、日本のソフトウェアエンジニアリングの変革に向けた取り組みを予定している。

※国内の情報については、「2023年度ソフトウェア開発に関するアンケート調査」の結果も参照ください。

[https://www.ipa.go.jp/digital/chousa/software-engineering/result\\_software-engineering2023.html](https://www.ipa.go.jp/digital/chousa/software-engineering/result_software-engineering2023.html)





本レポートは、その内容に関する有用性、正確性、知的財産権の不侵害等の一切について、当組織が如何なる保証をするものではありません。  
また、本レポートの読者が、本レポート内の情報の利用によって損害を被った場合も、当組織が如何なる責任を負うものではありません。