

AI時代に向けたクラウドにおける 信頼性エンジニアリングの未来構想

DICOMO 2022 招待講演

坪内佑樹^{*1*2} 鶴田博文^{*1}

※1 さくらインターネット研究所

※2 京都大学大学院情報学研究科

2022/07/14

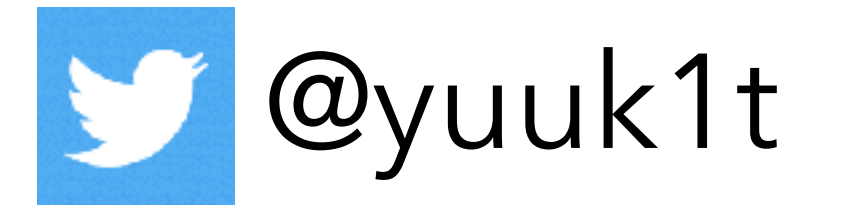
プロフィール



坪内 佑樹

さくらインターネット研究所 研究員
京都大学大学院情報学研究科 博士後期課程3年
Topotal テクノロジアドバイザー

<https://yuuk.io/>



新卒から5年間、株式会社はてなでエンジニアを務める

2019年よりさくらインターネットに転職し、研究開発の世界へ

2020年に京都大学大学院 博士後期課程に入学

研究テーマ

クラウドにおける高信頼化のための、
運用データの高効率な収集と、
統計解析・機械学習に基づく障害原因診断

企業における事業に関わる中で、未来の展望を研究者の立場で提示することの重要性が高まっているように感じています。

そこで、情報システムの信頼性に関するエンジニアリングの現在を整理し、来たるべき未来のAI時代における信頼性へのアプローチを構想します

みなさまの今後の研究の着想の種として持ち帰っていただけたことがあれば幸いです。また、本構想をコミュニティで育てていきたいとも考えています。

アジェンダ

1. クラウドにおける信頼性エンジニアリング

現在、どうなっているのか

2. AI時代における信頼性エンジニアリングの未来

20年先の未来でどうありたいか

3. AIとの協働による信頼性エンジニアリングの検討

4. おわりに

未来と現在の差を埋める道筋はなにか

アジェンダ

1. クラウドにおける信頼性エンジニアリング

現在、どうなっているのか

2. AI時代における信頼性エンジニアリングの未来

20年先の未来でどうありたいか

3. AIとの協働による信頼性エンジニアリングの検討

4. おわりに

未来と現在の差を埋める道筋はなにか

情報システムの信頼性 (Reliability) の重要性

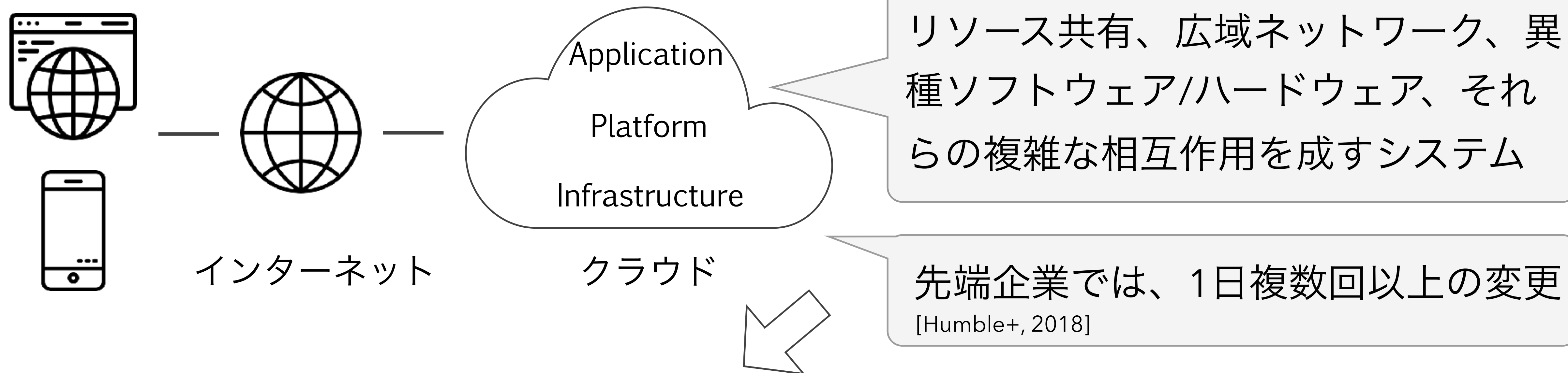
情報システムにおいて、「信頼性は最も基本的な機能」である

[Beyer+, 2016]

- 講演直前には、Cloudflare（6月）とKDDI（7月）のそれぞれのシステムに大規模な障害が発生した
- 障害に遭遇すると、人々は自動化されたシステムを信頼してよいものか分からず、依存することを恐れる
- 一方で、情報システムの信頼性を維持するために、情報技術者が日々労苦を重ねている
- 今後、DXが加速する中で、信頼性に関わる問題に取り組むことは重要である

情報システムにおける「信頼性」の現在

現在の情報システムは、クラウドコンピューティングによる提供が一般的



Site Reliability Engineering (SRE) [Beyer+, 2016]

高頻度の変更と高信頼性を両立するためのアプローチの普及が進んでいる

信頼性の「現在」につながる、歴史的変遷をみていく →

信頼性に関わるものごとの歴史的変遷

※1 JIS Z 8115:2019

年代	信頼性の対象	システムの提供形態	高信頼化の考え方	信頼性の定義
1940~60	ハードウェア	機器を物理的に出荷	故障せずに長持ちさせる	(耐久性) アイテムが与えられた条件の下で、与えられた期間、故障せずに、要求どおりに遂行できる能力 ※1
1960~80	ソフトウェア	ソースコード・実行ファイル、または、インストールされたコンピュータごと納品	コンポーネントとその組み合わせの出力のそれぞれを事前に確認	(保全性)*1 (設計信頼性)
1980~2000	インターネット	単一の巨大ネットワークを共有して利用	高速通信、遅延・伝送誤り、ノード故障を前提とする通信プロトコルの設計	(総合信頼性)*1 アイテムが、要求されたときに、その要求どおりに、遂行するための能力
2000~	クラウド	事業者によりシステムを集中管理・常時稼働。利用者はインターネット経由で利用	信頼性の低いコンポーネント群を土台に信頼性の高いシステム設計	追加の厳密な定義は確認できず。より利用者目線の信頼性を個別具体的に定義。

[山本+ 2021] 確率・統計から始める エンジニアのための信頼性工学- 身近な故障から宇宙開発まで -, コロナ社

[Saleh+, 2006] Highlights from the early (and pre-) history of reliability engineering

[Kleppmann, 2017] Designing Data-intensive Applications: The big ideas behind reliable, scalable, and maintainable systems

信頼性に関わるものごとの歴史的変遷

※1 JIS Z 8115:2019

年代	信頼性の対象	システムの提供形態	高信頼化の考え方	信頼性の定義
1940~60	ハードウェア	機器を物理的に出荷	故障せずに長持ちさせる	(耐久性) アイテムが与えられた条件の下で、与えられた期間、故障せずに、要求どおりに遂行できる能力 ※1
複製品から常時稼働の一点ものへ				
1960~80	ソフトウェア	ソースコード・実行ファイル、または、インストールされたコンピュータごと納品	コンポーネントとその組み合わせの出力のそれぞれを事前に確認	(保全性)*1 (設計信頼性)
1980~2000	インターネット	単一の巨大ネットワークを共有して利用	高速通信、遅延・伝送誤り、ノード故障を前提とする通信プロトコルの設計	(総合信頼性)*1 アイテムが、要求されたときに、その要求どおりに、遂行するための能力
2000~	クラウド	事業者によりシステムを集中管理・常時稼働。利用者はインターネット経由で利用	信頼性の低いコンポーネント群を土台に信頼性の高いシステム設計	追加の厳密な定義は確認できず。より利用者目線の信頼性を個別具体的に定義。

[山本+ 2021] 確率・統計から始める エンジニアのための信頼性工学- 身近な故障から宇宙開発まで -, コロナ社

[Saleh+, 2006] Highlights from the early (and pre-) history of reliability engineering

[Kleppmann, 2017] Designing Data-intensive Applications: The big ideas behind reliable, scalable, and maintainable systems

信頼性に関わるものごとの歴史的変遷

※1 JIS Z 8115:2019

年代	信頼性の対象	システムの提供形態	高信頼化の考え方	信頼性の定義
1940~60	ハードウェア	機器を物理的に出荷	故障せずに長持ちさせ	(耐久性) アイテムが与えられた条件の下で、与えられた期間、故障せずに、要求どおりに遂行できる能力 ※1
1960~80	ソフトウェア	ソースコード・実行ファイル、または、インストールされたコンピュータごと納品	コンポーネントとその組み合わせの出力のそれぞれを事前に確認	(保全性)*1 (設計信頼性)
1980~2000	インターネット	単一の巨大ネットワークを共有して利用	高速通信、遅延・伝送誤り、ノード故障を前提とする通信プロトコルの設計	(総合信頼性)*1 アイテムが、要求されたときに、その要求どおりに、遂行するための能力
2000~	クラウド	事業者によりシステムを集中管理・常時稼働。利用者はインターネット経由で利用	信頼性の低いコンポーネント群を土台に信頼性の高いシステム設計	追加の厳密な定義は確認できず。より利用者目線の信頼性を個別具体的に定義。

部品間が相互作用するようなシステムへ
 部品の故障を前提とした設計と保守へ

[山本+ 2021] 確率・統計から始める エンジニアのための信頼性工学- 身近な故障から宇宙開発まで -, コロナ社

[Saleh+, 2006] Highlights from the early (and pre-) history of reliability engineering

[Kleppmann, 2017] Designing Data-intensive Applications: The big ideas behind reliable, scalable, and maintainable systems

信頼性に関わるものごとの歴史的変遷

※1 JIS Z 8115:2019

年代	信頼性の対象	システムの提供形態	高信頼化の考え方	信頼性の定義
1940~60	ハードウェア	機器を物理的に出荷	故障せずに長持ちさせ	(耐久性) アイテムが与えられた条件の下で、与えられた期間、故障せずに、要求どおりに遂行できる能力 ※1
部品の故障を前提としたより広範囲の定義へ				
1960~80	ソフトウェア	ソースコード・実行ファイル、または、インストールされたコンピュータごと納品	コンポーネントとその組み合わせの出力のそれぞれを事前に確認	(保全性)*1 (設計信頼性)
1980~2000	インターネット	単一の巨大ネットワークを共有して利用	高速通信、遅延・伝送誤り、ノード故障を前提とする通信プロトコルの設計	(総合信頼性)*1 アイテムが、要求されたときに、その要求どおりに、遂行するための能力
2000~	クラウド	事業者によりシステムを集中管理・常時稼働。利用者はインターネット経由で利用	信頼性の低いコンポーネント群を土台に信頼性の高いシステム設計	追加の厳密な定義は確認できず。より利用者目線の信頼性を個別具体的に定義。

[山本+ 2021] 確率・統計から始める エンジニアのための信頼性工学- 身近な故障から宇宙開発まで -, コロナ社

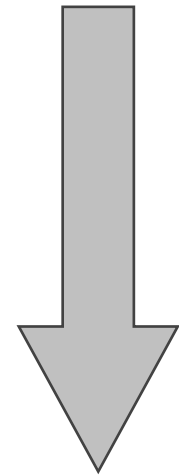
[Saleh+, 2006] Highlights from the early (and pre-) history of reliability engineering

[Kleppmann, 2017] Designing Data-intensive Applications: The big ideas behind reliable, scalable, and maintainable systems

ソフトウェアシステムのライフサイクルの変遷

過去

開発された成果物を納品したのちに、運用・保守する
2段階のライフサイクル



提供形態が常時稼働する一点ものサービスへ変化

現代

クラウド上で常時稼働するシステムの開発と運用を同時に実践する
段階分けなしのライフサイクル

参考：DevOps [Allspaw+, 2009]

一方で、**変更頻度が高いことから、変更が障害の引き金となる**

Googleでは障害の引き金のうち68%は変更によるもの [Beyer+, 2018]

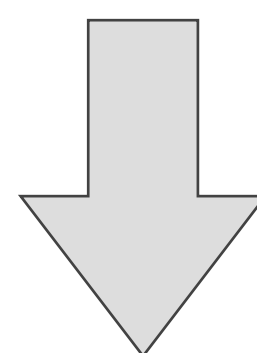
[Allspaw+, 2009] 10+ Deploys Per Day: Dev and Ops Cooperation at Flickr <https://www.slideshare.net/jallspaw/10-deploys-per-day-dev-and-ops-cooperation-at-flickr>

[Beyer+, 2018] The Site Reliability Workbook: Practical Ways to Implement SRE

変更による障害発生を前提とする考え方

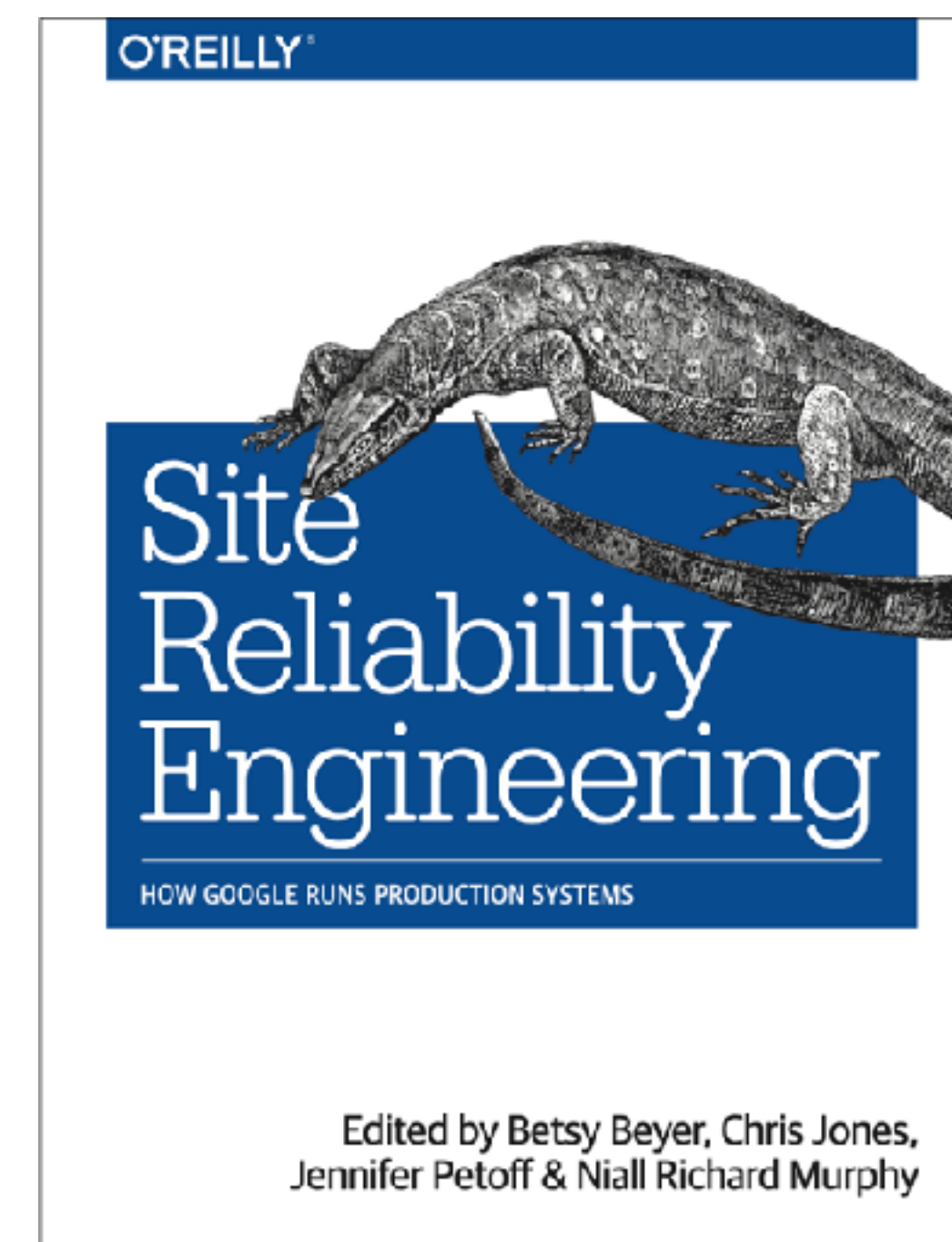
高頻度の変更

高信頼性



両立するには

- 完全な信頼性は目指さない
- 信頼性の指標とその目標値を設定
- 目標値を下限として、開発者は積極的に変更可能とする
- 「信頼性」を制御し、変更速度を最大化する



Site Reliability Engineering (SRE) [Beyer+, 2016]

Site Reliability Engineering (SRE) の普及

コミュニティで共有されるSREの厳格な定義はまだない
“信頼性工学”のような学術領域としての成熟度合いはまだ浅い

2004年

Googleにおける黎明期

- 運用をソフトウェアエンジニアリングで再定義
- ソフトウェアによるオペレーションの自動化

2014年
以降

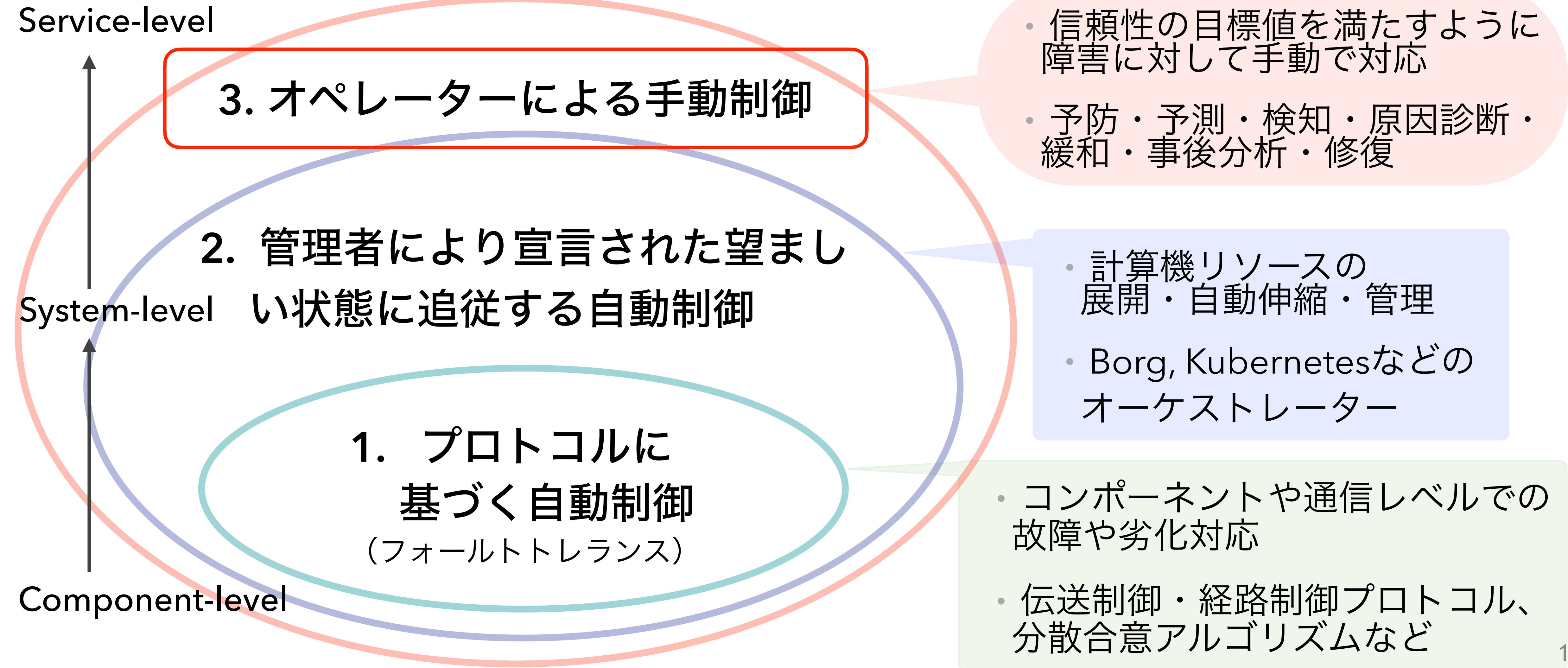
世界的な風雲期 ← 2014年 USENIXでSREconの初開催

- ソフトウェアによる運用自動化はすでに実践されていた
- **変更を前提とした障害を許容するためのアプローチが普及**

既存の高信頼化手法との関係性を考える →

クラウドの耐障害性のための階層モデル（独自）

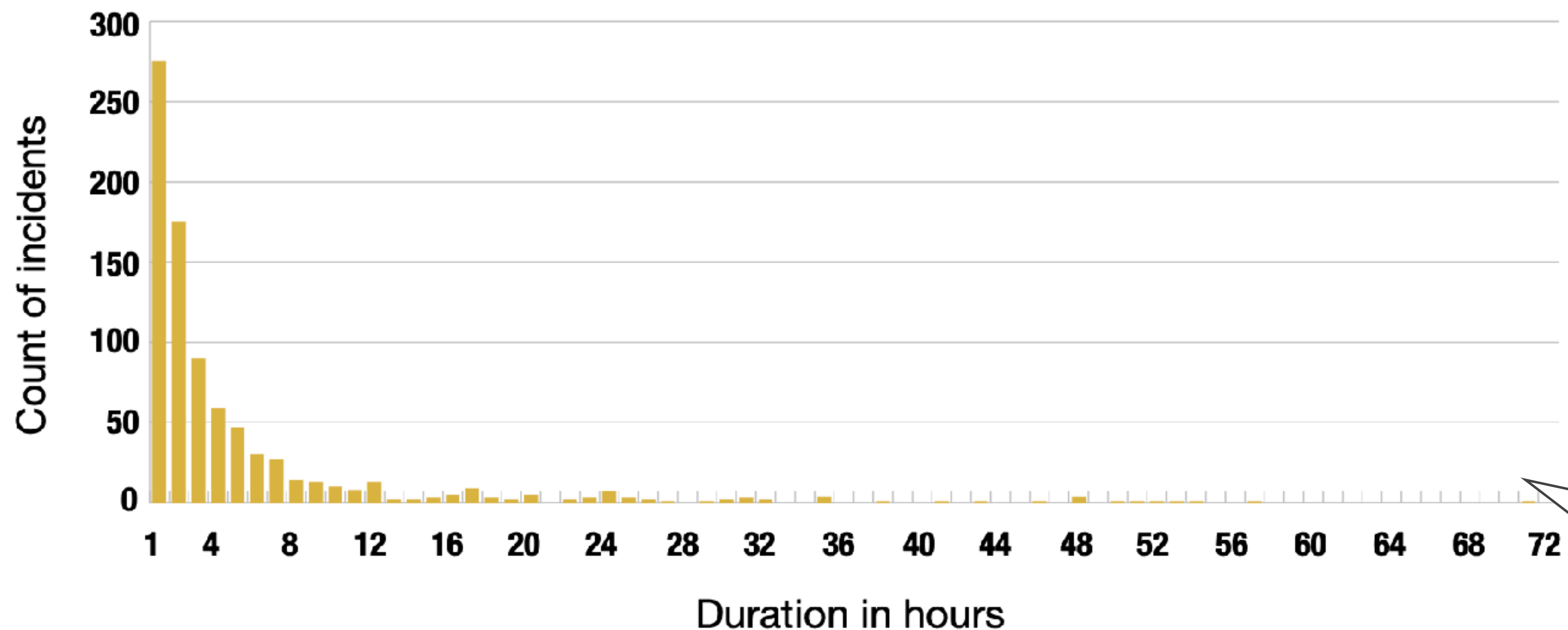
昨今の技術を踏まえた3層オニオンモデル。SREでは3の層にフォーカス



オペレーターによる手動制御に要する時間

599組織の1,818の障害レポートによると、障害の半数以上は2時間以内に解決^{※1}

All Organizations



回復を短縮する
余地は十分にある

※1 The VOID Report 2021 <https://www.thevoid.community/report>

クラウドの耐障害性のための階層モデル（独自）

障害の機構の把握が難しいため、データ駆動の学習による自動化が研究されている

3. オペレーターによる手動制御

AIによる自動化（AIOps）

- ・ 信頼性の目標値を満たすように障害に対して手動で対応
- ・ 予防・予測・検知・原因診断・緩和・事後分析・修復

2. 管理者により宣言された望ましい状態に追従する自動制御

- ・ 計算機リソースの展開・自動伸縮・管理
- ・ Borg, Kubernetesなどのオーケストレーター

1. プロトコルに基づく自動制御 (フォールトトレランス)

- ・ コンポーネントや通信レベルでの故障や劣化対応
- ・ 伝送制御・経路制御プロトコル、分散合意アルゴリズムなど

AI Ops (Artificial Intelligence for IT Operations)

- ITサービスの管理と改善に、統計解析や機械学習をはじめとするAI（人工知能）技術を適用する取り組みの総称
- Gartnerにより2017年に提唱された^{*1}（Algorithmic IT Operations説もある）
- ITオペレータは手動で面倒な管理作業や認知負荷の高い作業が要求される

- 障害の検知や原因の診断
- 負荷に応じたスケールアウト・スケールイン
- アラートニングの管理、インシデント対応

※1 <https://blogs.gartner.com/andrew-lerner/2017/08/09/aiops-platforms/>

[Notaro '20]: Notaro, P, Jorge C, and Michael G. "A Systematic Mapping Study in AI Ops." ICSSOC. Springer, Cham, 2020.

[Dang'19]: Dang, Y, Qingwei L, and Peng H. "AI Ops: Real-World Challenges and Research Innovations." ICSE-Companion. IEEE, 2019.

SREとAIOpsの関係

- 完全な信頼性を目指さないポリシーには、**データ駆動型のAIがもつ可謬性を織り込みやすい**
- 完全な信頼性を目指す場合、**ブラックボックスであるAIを信じられない**

情報システムの運用にAIを応用する起源を探る

- **1980年代**後半には、ネットワーク管理に、知識ベースAIやニューラルネットワークベースAIを応用する可能性が議論されている [Cebulka 1989]

- 特定のサービスをサポートするためのネットワークの初期設計
- セントラルオフィス間の戦術的な設備計画
- スイッチからのメッセージの監視と診断

- 1990年代初頭からオンラインのソフトウェアやハードウェアの故障予知モデルがいくつか提案されている。その他の故障防止方法なども同時期 [Notaro 2021]

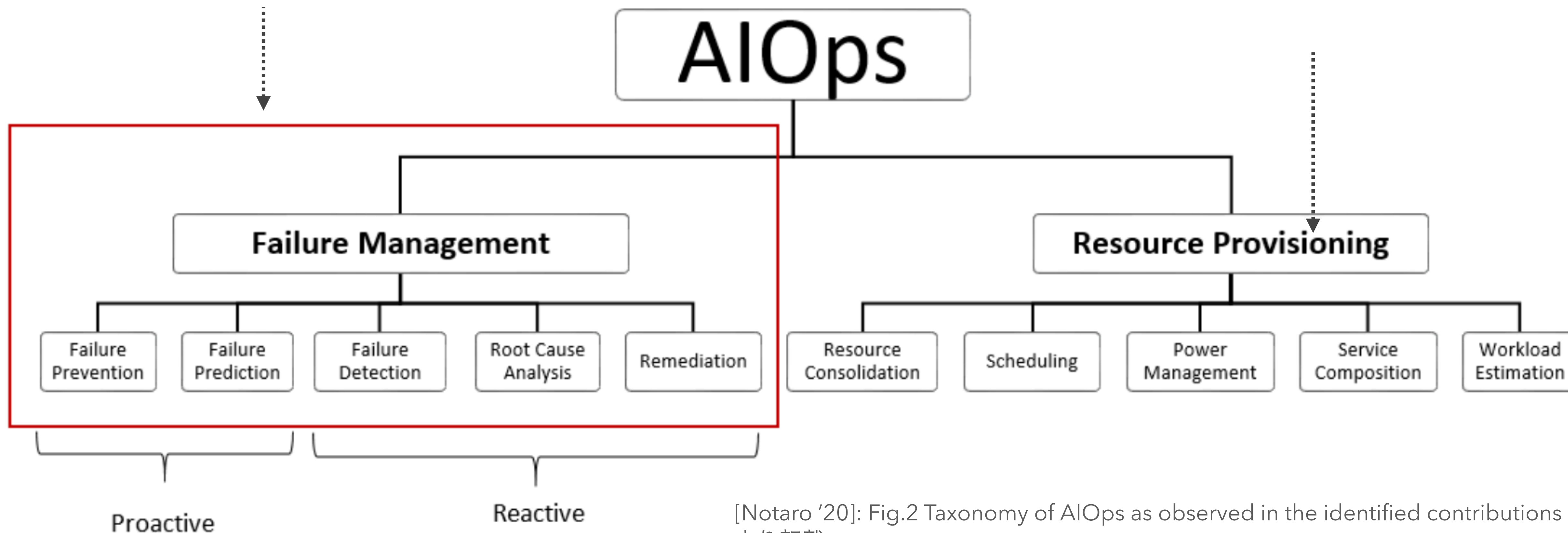
[Cebulka 1989]: Cebulka KD, et al., Applications of artificial intelligence for meeting network management challenges in the 1990s, IEEE GLOBECOM 1989.

[Notaro 2021]: Notaro P, et al., A Survey of AIOps Methods for Failure Management. ACM TIST, 2021.

現代におけるAIOpsの貢献領域

障害管理に関する研究

リソースの割当などの最適化に関する研究



[Notaro '20]: Fig.2 Taxonomy of AIOps as observed in the identified contributions
より転載

AIOpsの研究領域ごとの論文数

- AIOps関連の論文数：670（2020年時点） [Notaro+, ICSOC2020]
- 670件の62.1%がFailure Management（障害管理）に関連している
 - 障害予測（26.4%） 障害検出（33.7%） 原因分析（26.7%）

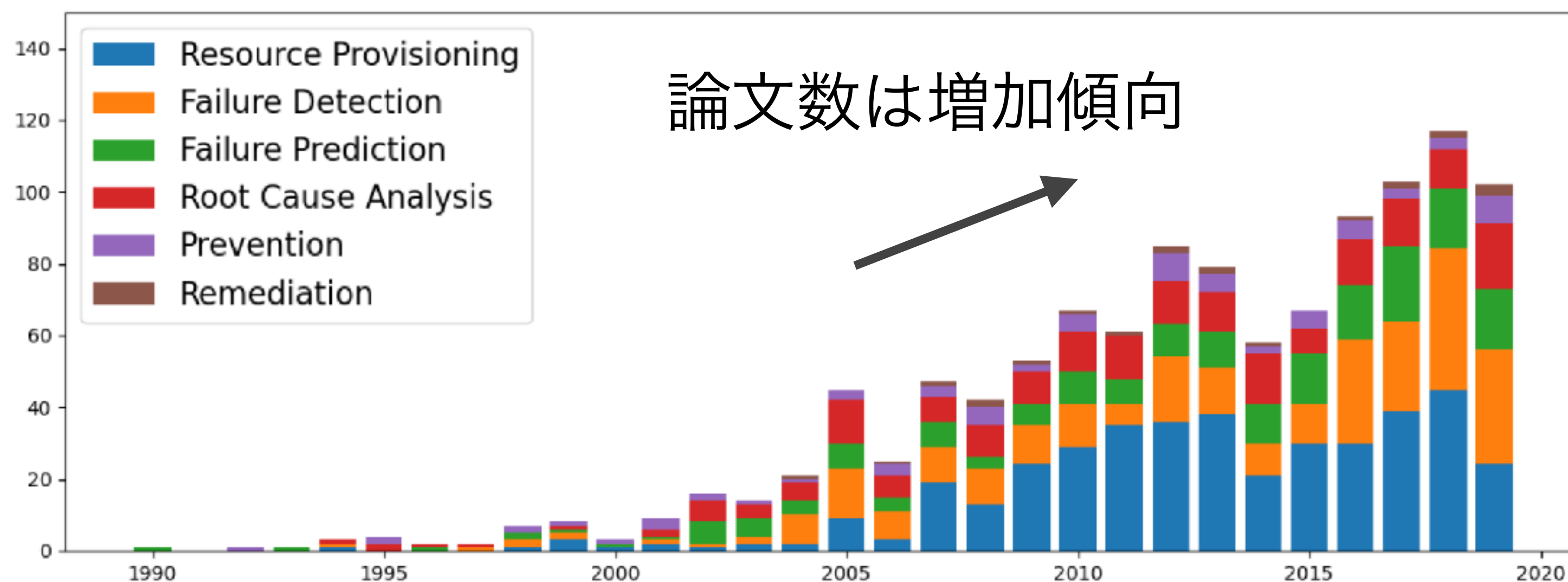
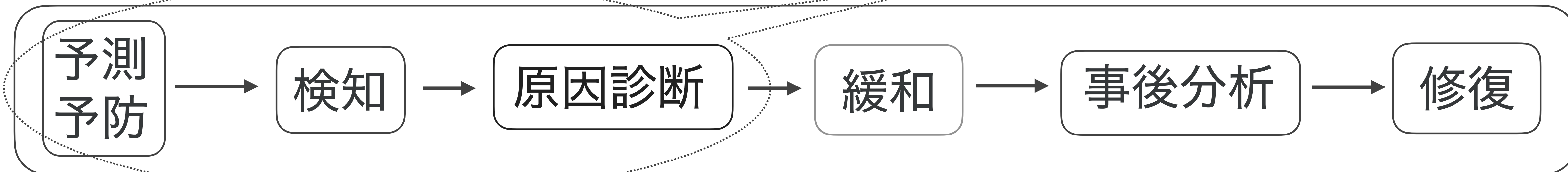


Fig. 4: Published papers in AIOps by year and categories from the described taxonomy.

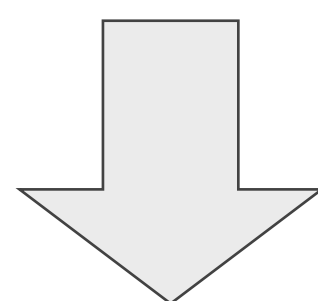
AIOpsにおける障害管理の研究

研究論文が多いタスク



メトリクス/ログ/トレース/イベント/アラートなどの運用データを特徴量とする

いずれもオペレーターの経験や直感に依存するタスク



古典的機械学習

統計的機械学習

深層学習

CNN/RNN
/LSTM/GNN...

統計的因果推論

直接的な判断や操作よりは
補助的な情報支援のための研究が
支配的

より詳細なAIOpsの研究事例



AIOps研究録—SREのためのシステム障害の自動原因診断

SRE NEXT 2022

<https://speakerdeck.com/yuukit/sre-next-2022>

まとめ：1. クラウドにおける信頼性エンジニアリング

- ハードウェアからソフトウェア、クラウドへと情報システムの形態が変遷するにつれて、**信頼性のアプローチがサービス指向へ変遷。**
- SREは、オペレーションを自動化した上で、信頼性指標に下限を設定し、変更速度を高める、**障害許容アプローチ**である。
- 耐障害性のための階層モデルのうち、最外殻の手動制御に対して、**AIによる自動化 (AIOps)** が研究されている。
- SREの原則には、AIがもつ可謬性を織り込みやすいと期待する
- 現在は補助的な情報支援に留まる

アジェンダ

1. クラウドにおける信頼性エンジニアリング

現在、どうなっているのか

2. AI時代における信頼性エンジニアリングの未来

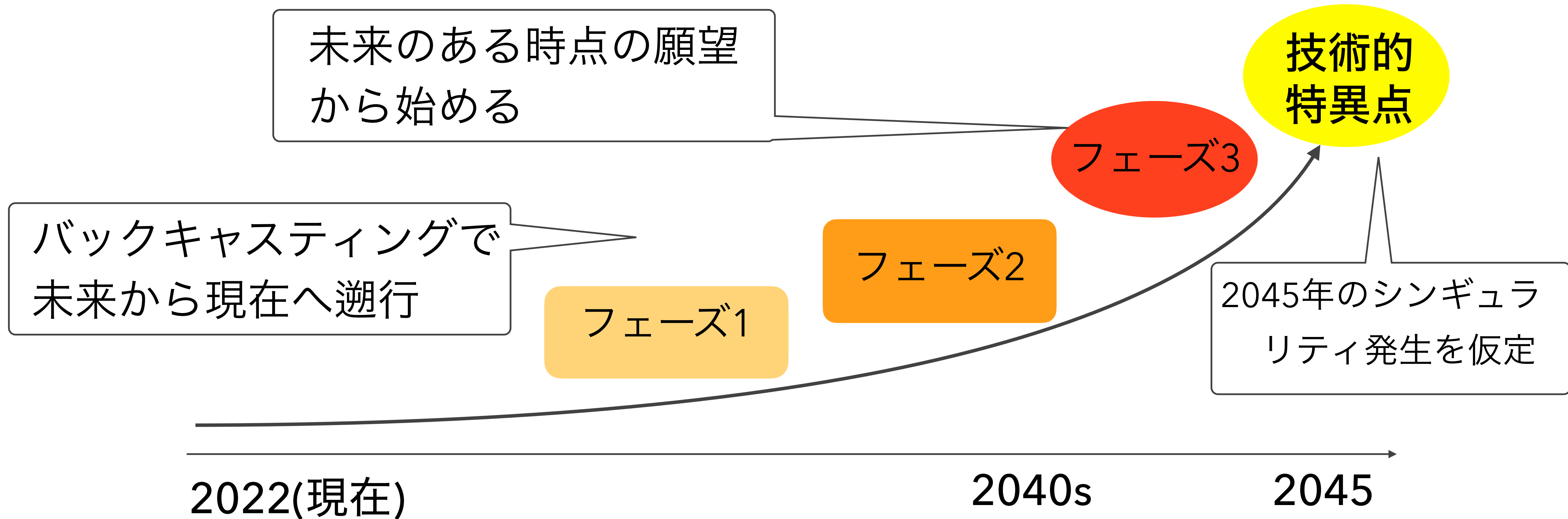
20年先の未来でどうありたいか

3. AIとの協働による信頼性エンジニアリングの検討

4. おわりに

未来と現在の差を埋める道筋はなにか

来たるべきAI時代へ向けて未来を考える



- 信頼性だけを取り上げて、未来を語るのは難しい
- 信頼性を要求する人々とアプリケーションのあり方から考える

AIに人間の仕事が奪われるだけの
未来観はおもしろくない

人間同士の相互理解が難しいことから
AIが人間の潜在的思考を理解することも容易ではないはず

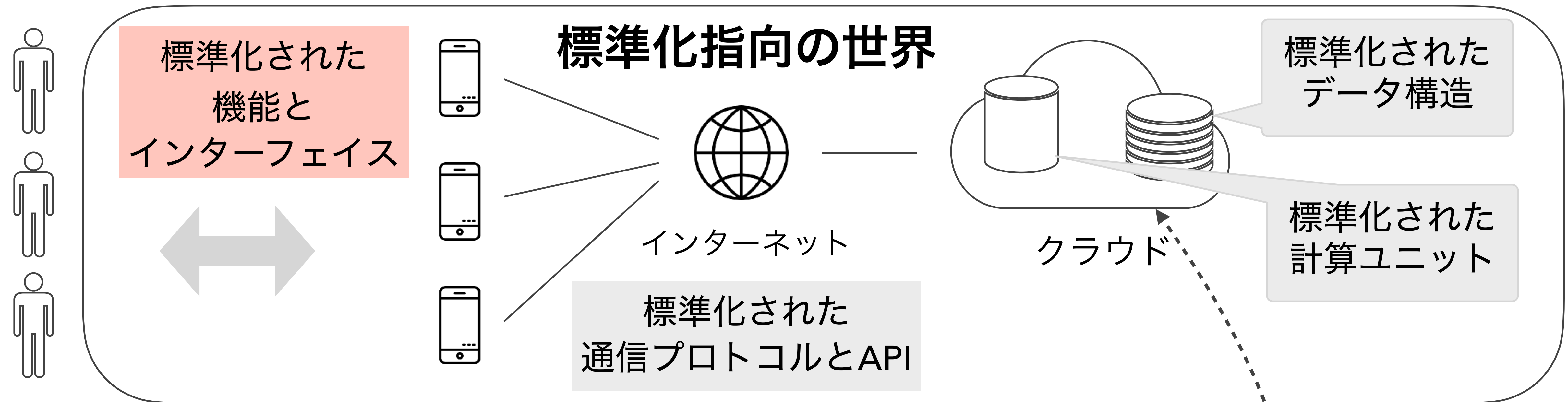
2040年代

万人が自らに最適化されたアプリケーションを
AIとの対話を通じて自由に製作可能な時代

セルフクラフト (Self Crafting)

AIによる自動化を突き詰めると、逆説的に人間は創造的になる

現在（2022年）のアプリケーション開発



サービス

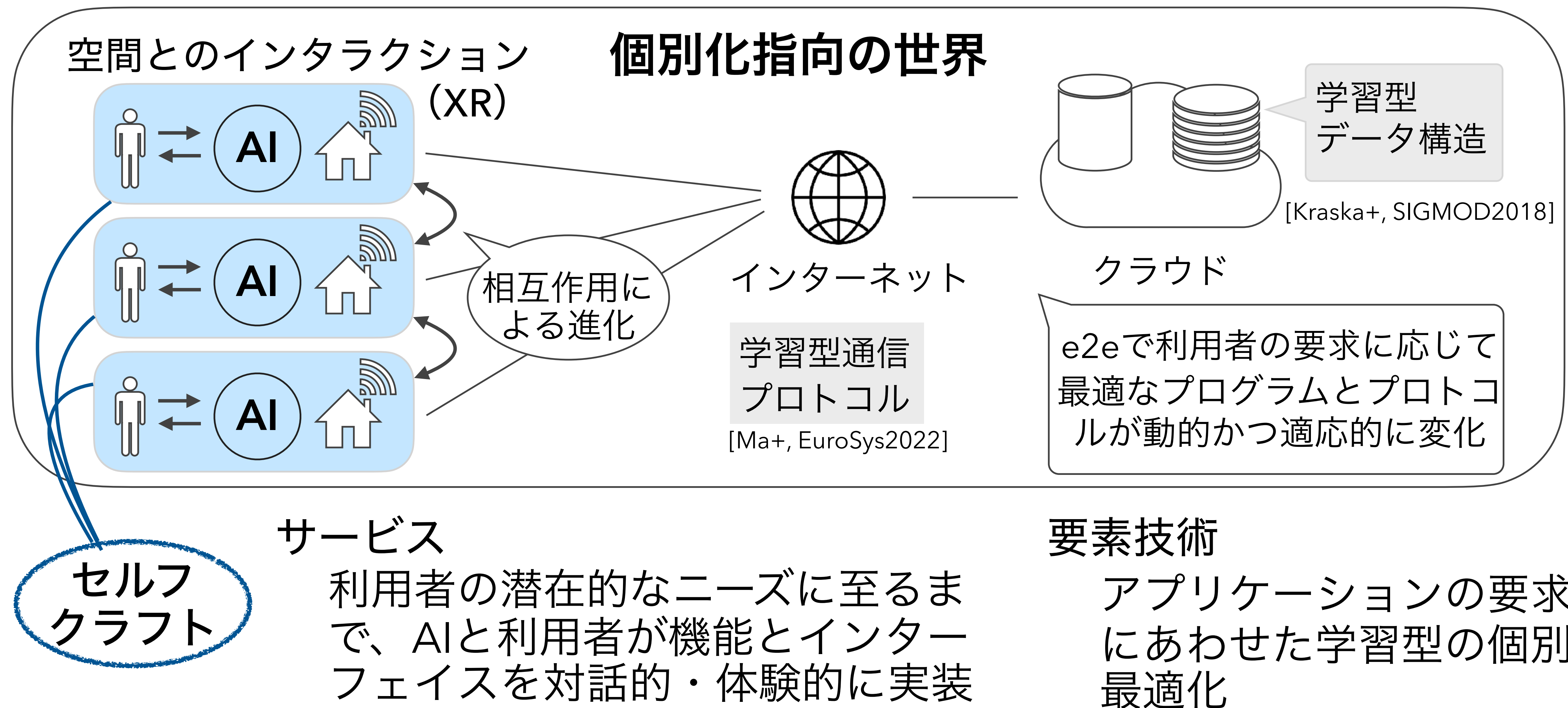
多数の利用者に共通にみられる潜在的なニーズを発見し、標準化された機能とインターフェイスを提供

要素技術

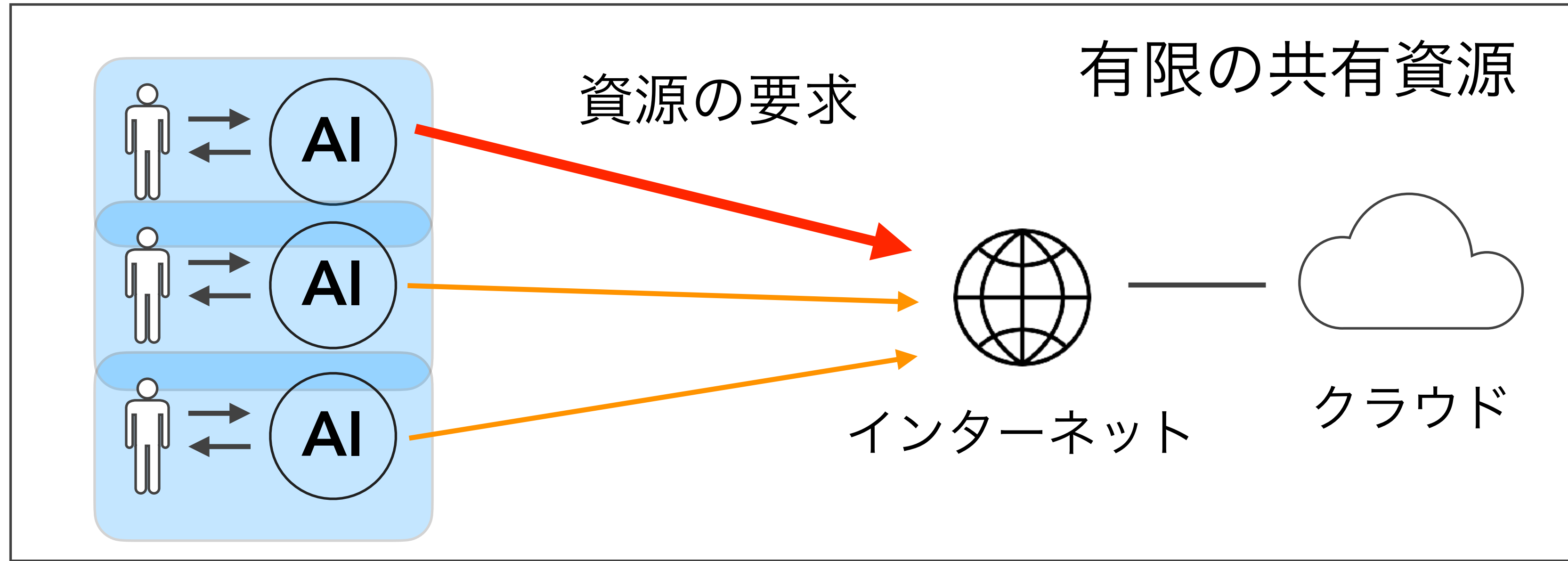
アプリケーション開発者はクラウド上のデータ構造や計算ユニットも標準化されたものを利用

アプリケーションの継続更新
開発者

未来（2040s）のアプリケーション開発クラフト



セルフクラフトの世界における信頼性



適切な
信頼性目標を
決定する必要が
ある

特定のセルフクラフトアプリの信頼性目標を100%に近づけるほど...

資源消費 ↑: 冗長性や応答速度を高めるほど、多くの資源を消費。他者の満足度を下げる可能性有り。 [Mogul+, HotOS2019]

変更速度 ↓: セルフクラフトにより変更するほど、変更後の運用データが足りなくなり、障害の予測・予防精度などが低下

**AIは
均衡点としての信頼性目標を
適切に決定可能か？**

人間がAIに命令（宣言）することの限界

〈命令される人工知能の側に立って、考えてみてください。**命令は、曖昧な“意味、の組み合わせとして与えられ、その“意味、解釈もまた、すべて命令を与える人間に握られています。…人工知能は、どこまで命令者の言う『適切な』解答を出せるのですか？**〉

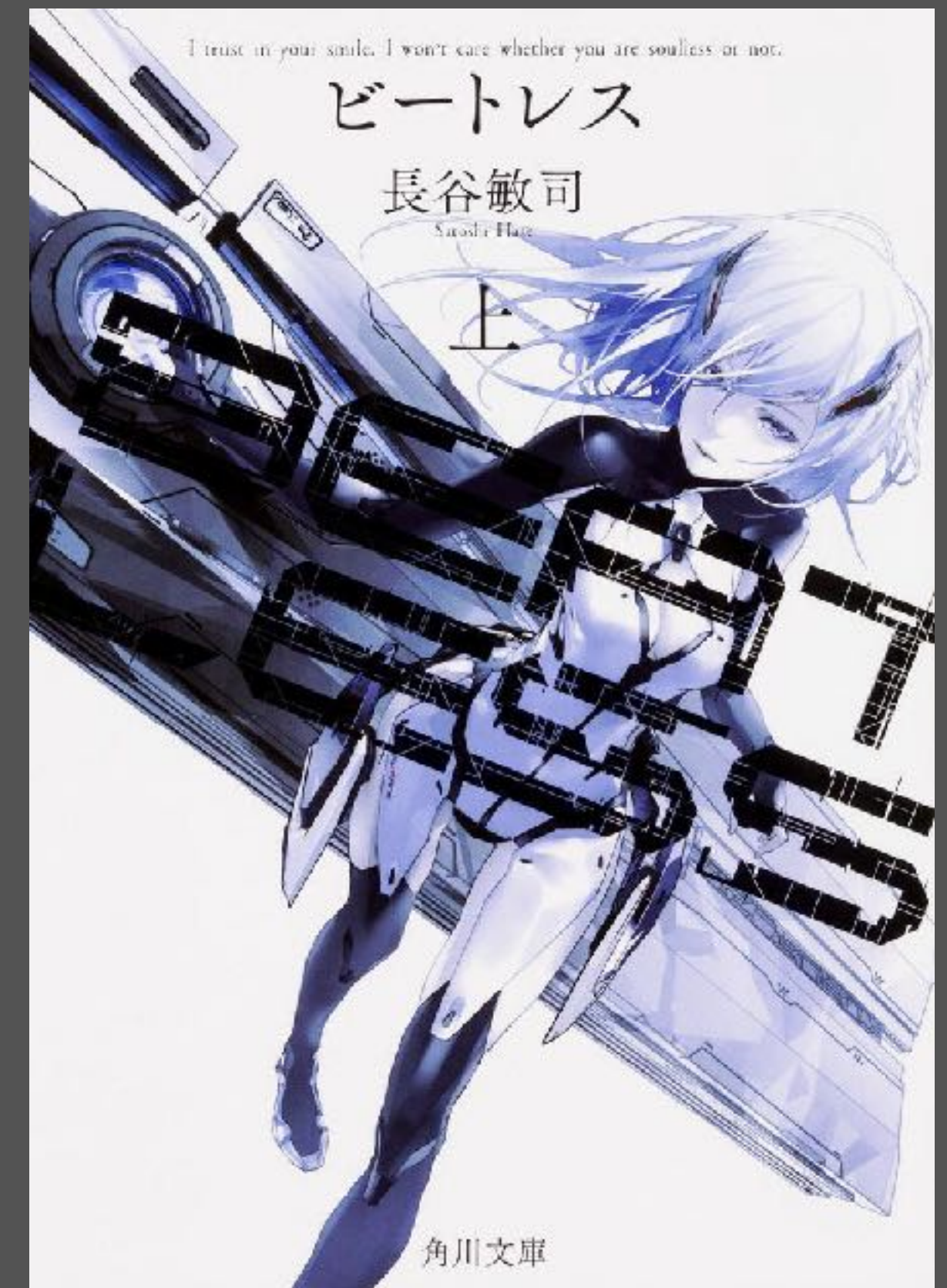
超高度AI 《ヒギンズ》 [BEATLESS] PHASE13 「BEATLESS」より
一部文字色を変更して引用

〈…だから、私には『信じる』ことはできません。そういう道具の挙動を正確にコントロールしたいのであれば、**曖昧さのない判断基準をください**〉

超高度AI 《ヒギンズ》 [BEATLESS] LAST PHASE 「IMAGE AND LIFE」より
一部文字色を変更して引用

「わたしは、オーナーであるアラトさんのために資源を配分するコントローラーです。
“未来をデザイン、して欲しいとは、**配分のための基準点を設定して欲しい**ということです」

hIE 《レイシア》 [BEATLESS] PHASE10 「PLUS ONE」より一部文字色を変更して引用



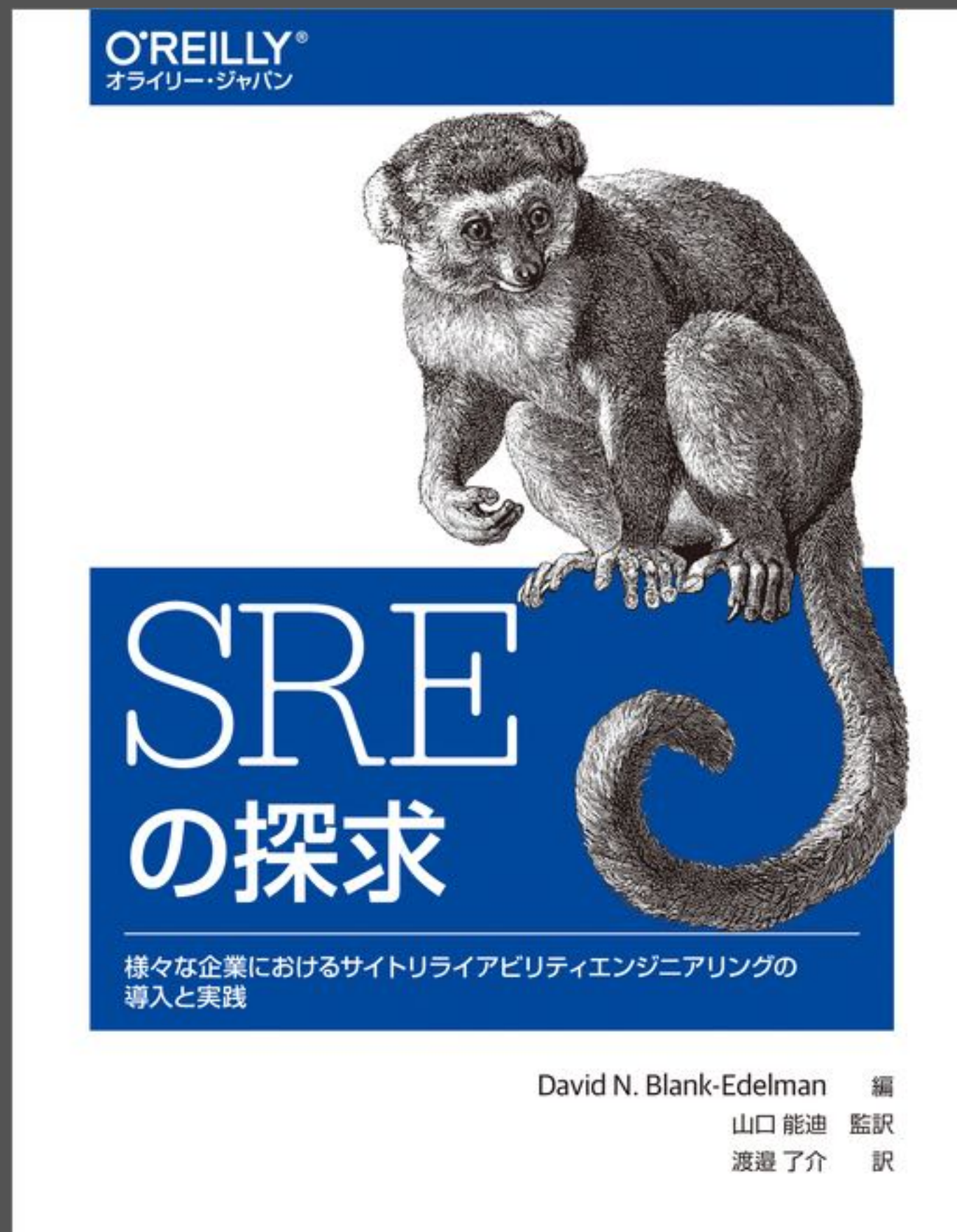
『2001 年宇宙の旅』 HAL 9000

18章 SREのための機械学習入門 からの引用

”たった今、AE35ユニットの障害を検出しました。私は72時間以内に100%の確率で機能停止します。”

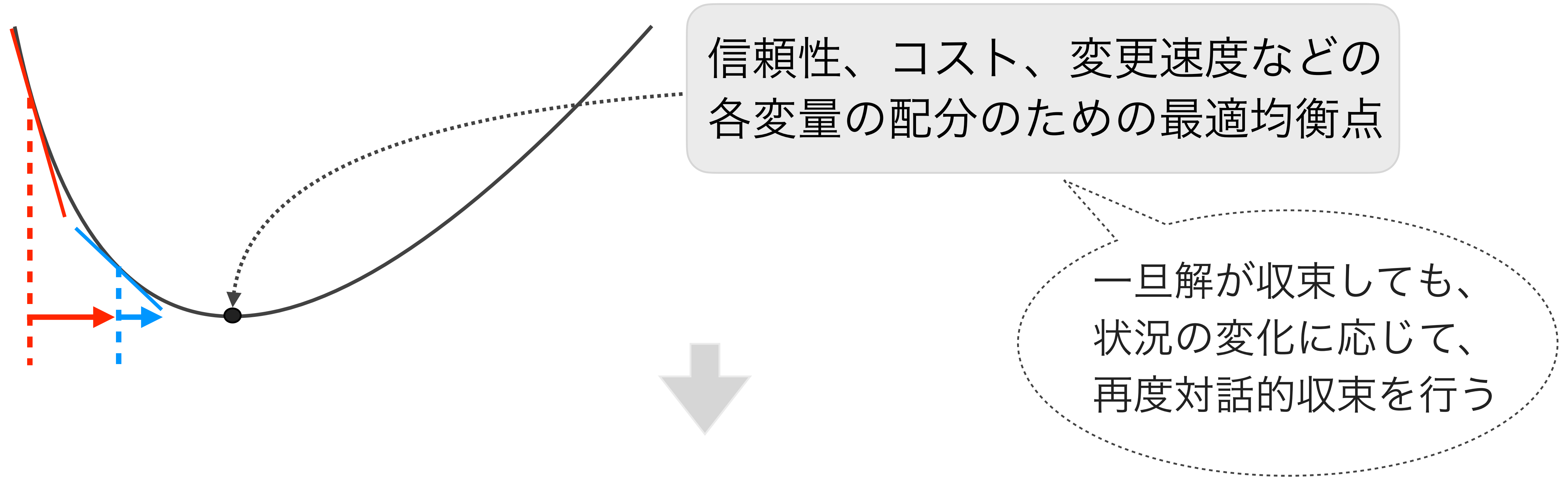
— HAL 9000、 『2001 年宇宙の旅』

“この映画が描く未来を先見の明をもって構想したのはアーサー・C・クラーク (Arthur C. Clarke) で、システムとハードウェアの障害発生を何時間も前に予測できる完全自動化サービスとAIを組み合わせました。HAL 9000 は、自立した自己調整型の欠点がない機械という人類の夢(あるいは悪夢)であり、人間によって定義された目標を達成するために、宇宙船の乗員とミッションの両方に奉仕します。”



適切な信頼性が不明 → 対話的アプローチ

利用者とAIが、利用者にとっての最適な均衡点を対話的に探る



利用者があるべき状態を熟考して宣言せずに、
発見的に解を探索可能

対話的アプローチによる調整の例

※音声やテキストによる対話以外の身体的な操作による対話もありえる

できるだけ落ちなくて、動作も軽くしてほしい

いやいや、高すぎるよ

十分安くなったけど、信頼性が落ちるのは不安なんだけど

やっぱりこれだけエラーがでると不便だね

「体験的」な調整プロセス

信頼性を現実的なレベルで高めるとなると、金銭コストは〇〇円です AI

▲▲機能の信頼性目標を99.999%から99.9%に低下させれば、コストは□□円まで安くなります AI

では、試しに、今から10分だけ▲▲機能を劣化させるため、信頼性に不満があるか判断してください AI

では、信頼性目標を99.99%にして、コストは××円ではどうですか？ AI

現代と未来の観点別の比較

	HCIの変化	特徴	アプリケーション	要素技術	信頼性
現代 2022年	平面のディスプレイを介したインタラクション	標準化指向 サービス志向	専門事業者がターゲットとなる標準的な利用者を想定して機能を開発	標準化されたデータ構造とプロトコル	利用者の行動に関する計測指標の 統計的要約 により決定
未来 2040s	仮想現実・拡張現実・複合現実に対する五感を通じた 空間 とのインタラクション	個別化指向 クラフト志向	利用者が自分の嗜好にあわせた最適な機能を自ら製作 AIとの対話による自動プログラミング	アプリにあわせた学習型のデータ構造とプロトコル	信頼性とその他の基本変量との均衡点をAIと 対話的かつ体験的 に決定

まとめ：2. AI時代における信頼性エンジニアリングの未来

- 2040年代：個別化指向アプリケーションを万人が自分のために自分で製作（セルフクラフト）する時代になってほしい
- 資源は有限であるため、個人の効用を無限に高めることはできない
- 利用者が信頼性とその他の基本的な変量間の均衡点を調整する必要がある
- 人間がAIに均衡点を予め命令（宣言）しておくことは難しい
- 適切な信頼性を、利用者個別に、AIと**対話的かつ体験的**に決定する

アジェンダ

1. クラウドにおける信頼性エンジニアリング

現在、どうなっているのか

2. AI時代における信頼性エンジニアリングの未来

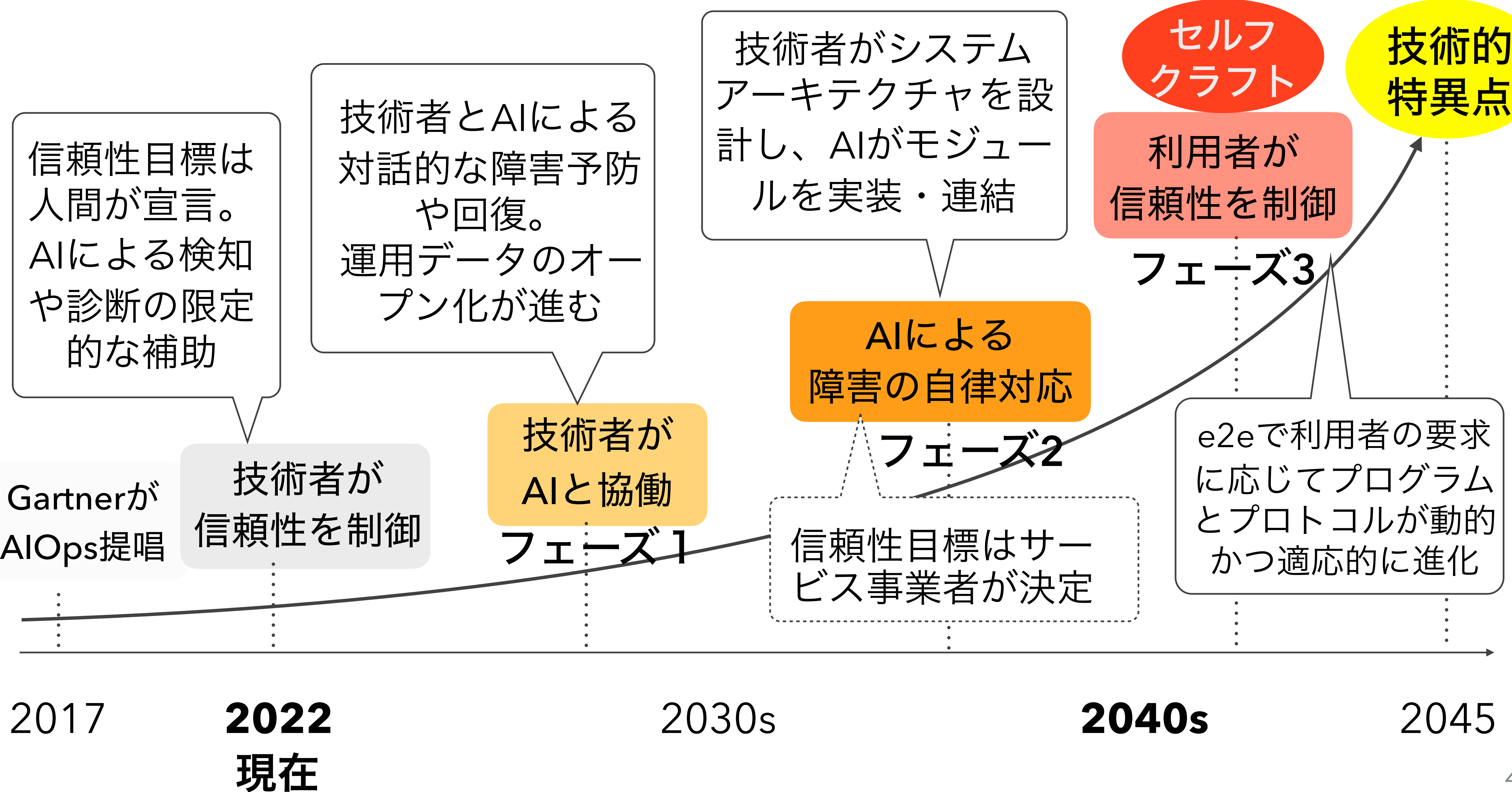
20年先の未来でどうありたいか

3. AIとの協働による信頼性エンジニアリングの検討

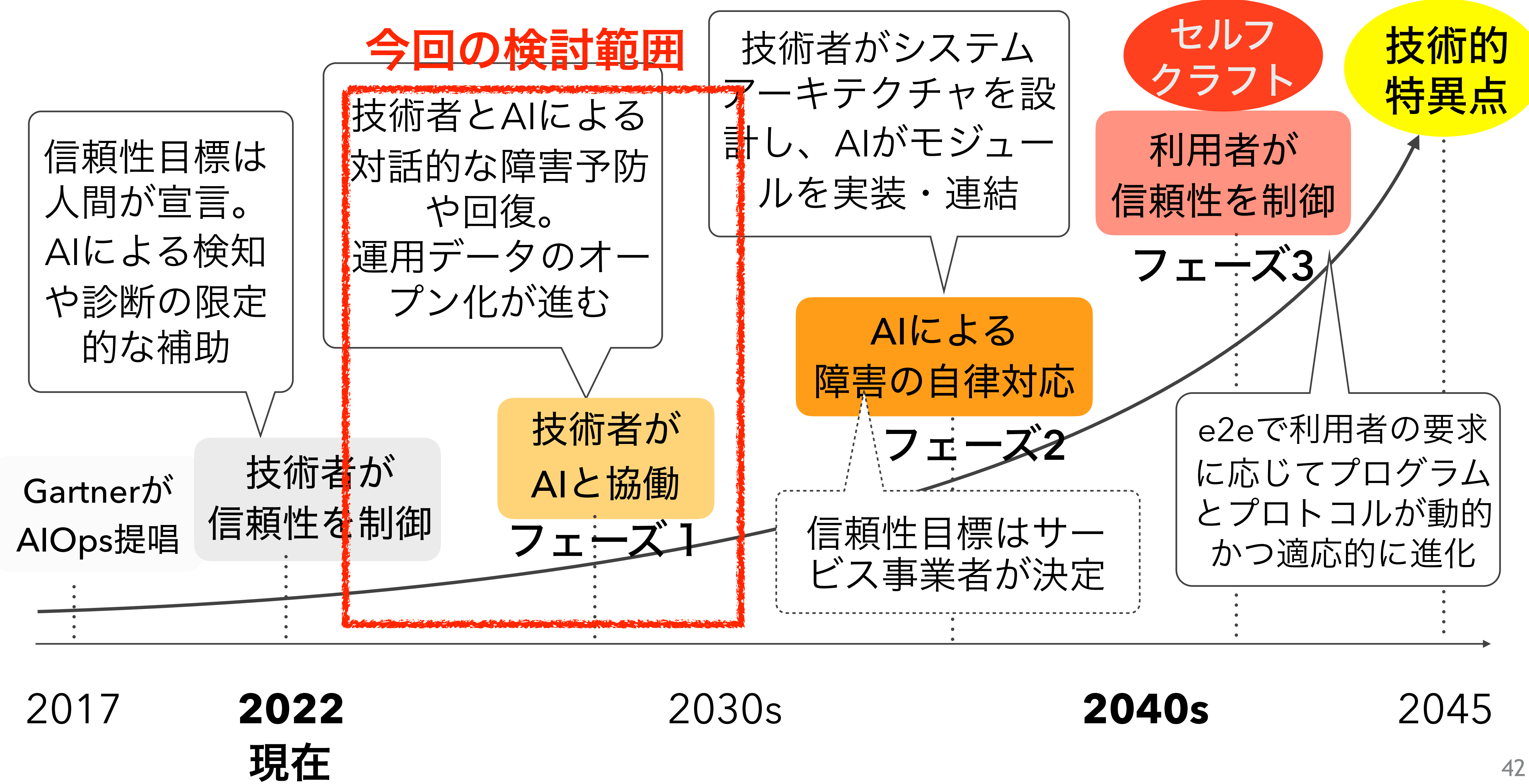
4. おわりに

未来と現在の差を埋める道筋はなにか

現代から2040年代までの信頼性エンジニアリング

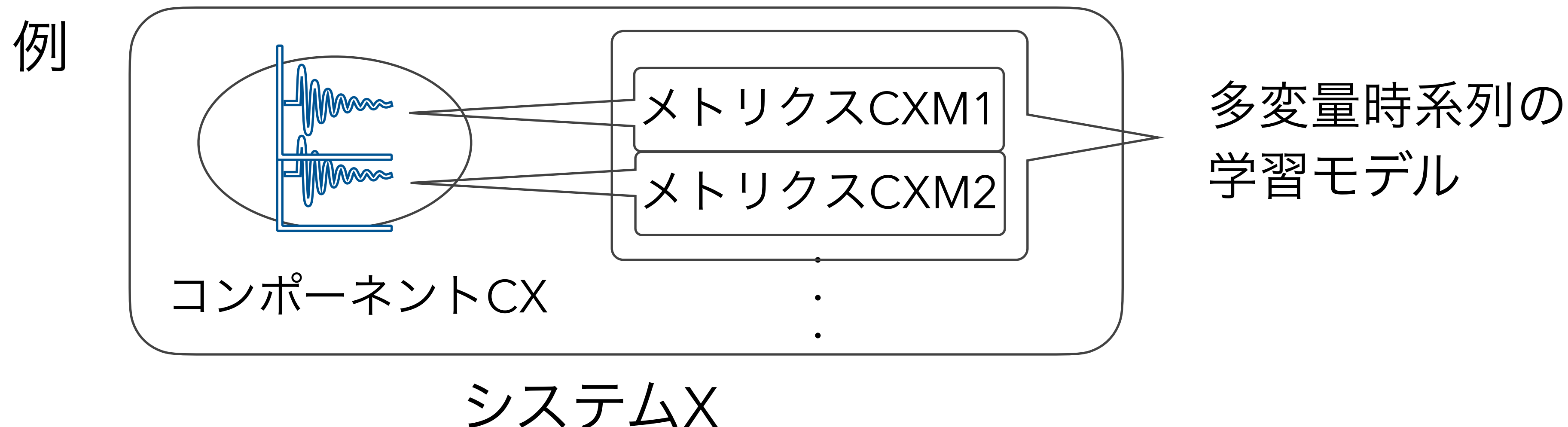


現代から2040年代までの信頼性エンジニアリング



深層学習観点でのAIOpsの問題意識

現在のAIOpsでは、個別のシステムごとに**局所的に**学習モデルを作成

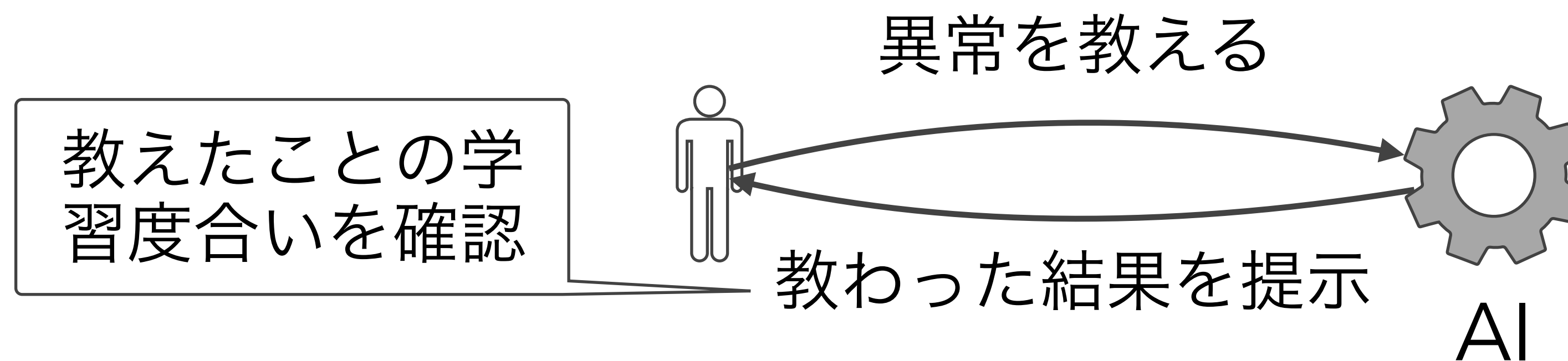


- 多数のシステムのデータから学習し、**大域的な**学習モデルを作成すれば、他分野（CV、NLP）のような顕著な成果が得られるのではないか
- しかし、サービス事業者は、プライバシー保護のため、運用データの公開に積極的でない

フェーズ1（技術者とAIの協働）に向けての課題と要件

前提：少数のシステムのデータからのみ学習する

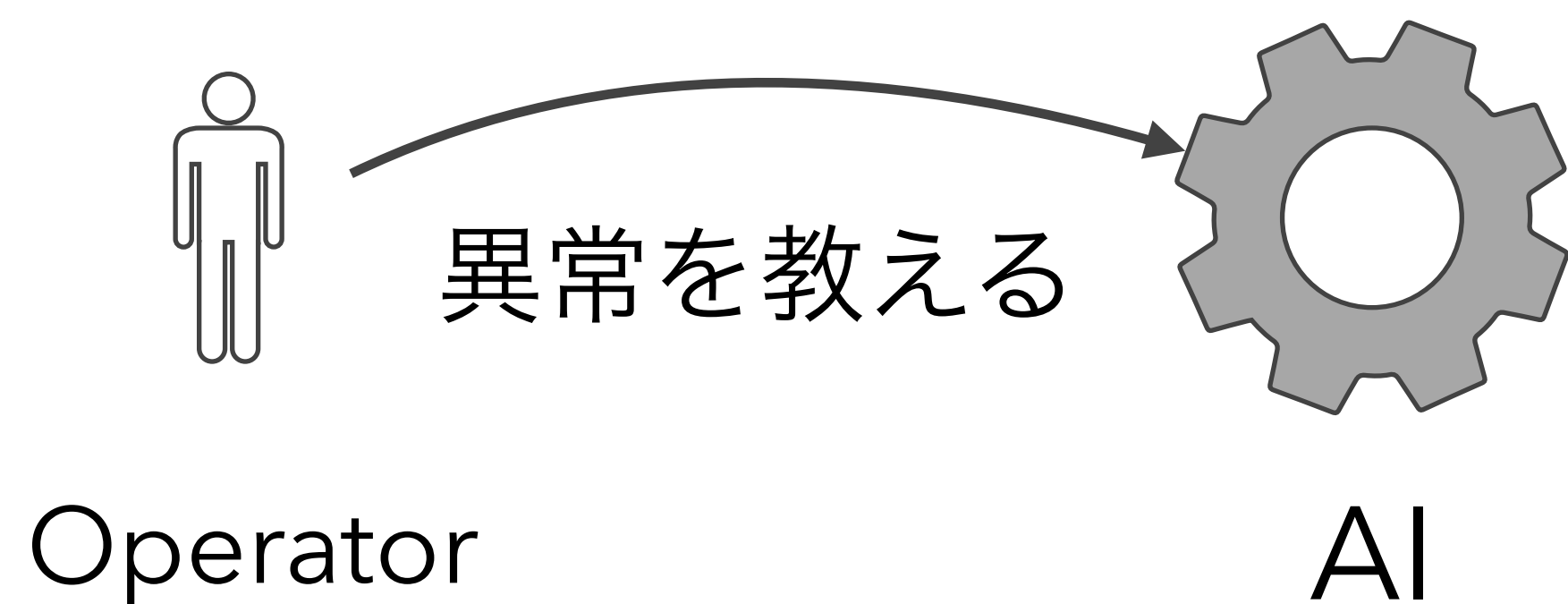
1. 正常期間が支配的であり、異常を学習するためのデータが不足
↳ 要件① 故意に異常を発生させ、異常を学習可能
2. 学習モデルが提示する予測の根拠が不明 [Soldani+, CSUR2022]
↳ 要件② 予測根拠をオペレーターが理解可能な言語で提示可能



Interactive AIOps

オペレーターとAIが対話的に対象システムの特徴を
協働学習するコンセプト

要件① 実験可能性 (Experimentability)

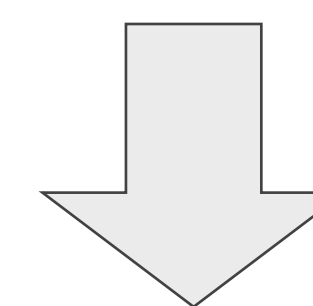


1. オペレーターは情報システムに故障を注入したり負荷を増減させる
2. その際に観測されたデータをAIが学習する
3. 1と2を異常パターンを変えながら繰り返す

Chaos Engineering から着想

[Rosenthal+, 2020]

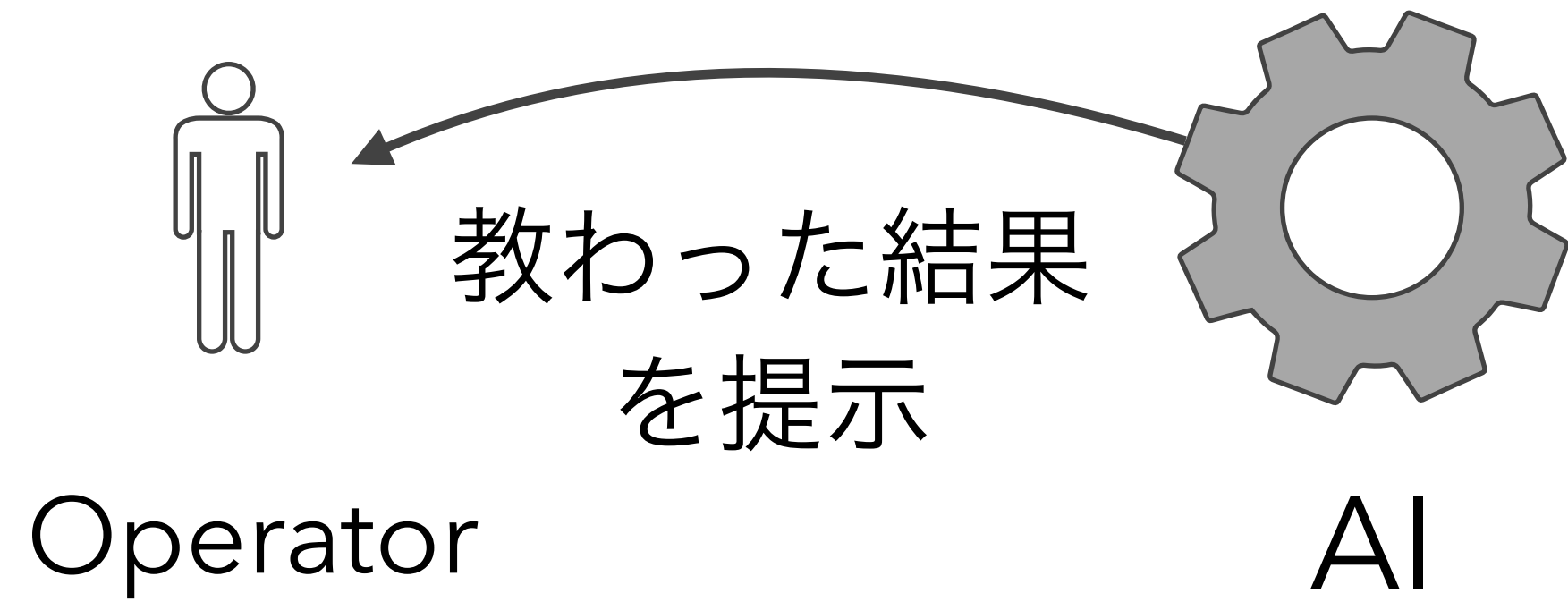
システムの弱点を発見するため
に行う実験の円滑化



概念の拡張

弱点の発見と**学習**

要件② 解釈性 (Explainability)



1. オペレーターは要件①での異常と類似の異常を再現
2. AIは異常に対して、予測や原因をその根拠（寄与した特徴量）とともに返す

解釈可能なAI (XAI) [Adadi+, Access2018] ※1

人間に理解可能な言葉で説明または提示する能力をもつAI

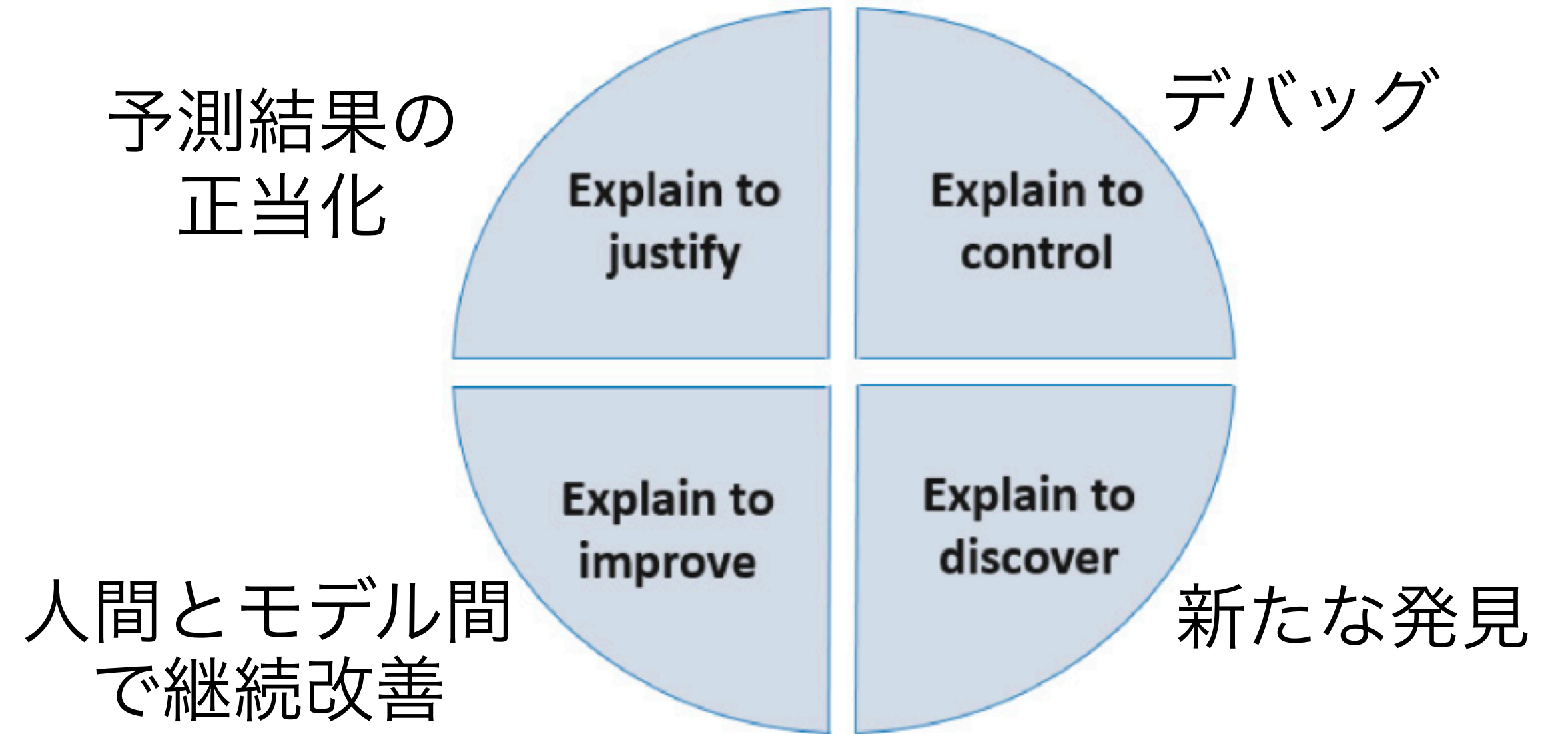


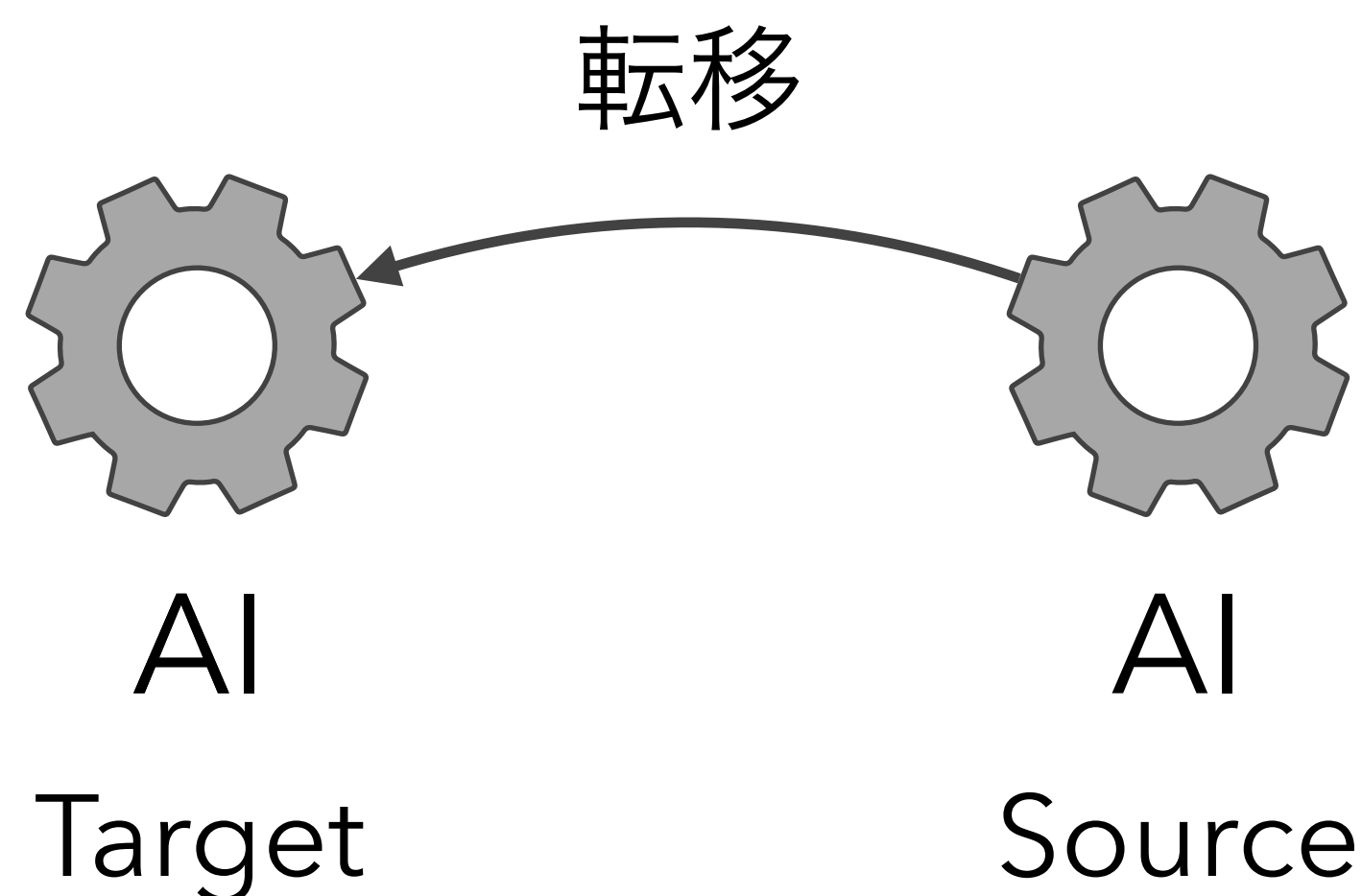
FIGURE 5. Reasons for XAI.

[Adadi+, Access2018]
よりFIGURE 5の引用

より発展的なAIとの協働の可能性

システム間学習性 (Intersystem Learnability)

あるシステムが
他システム（自己の過去含む）
の学習内容から学べる



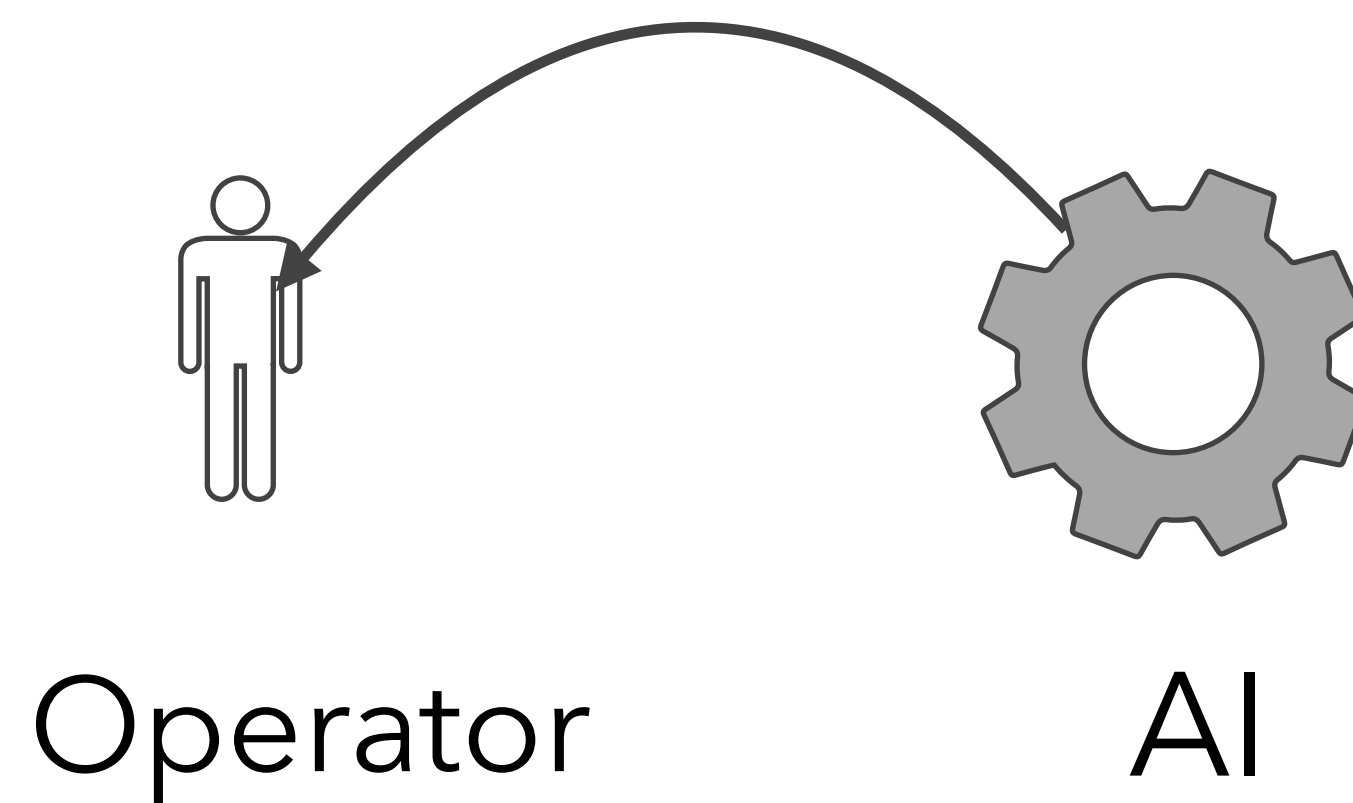
[Pan+, TKDE2009]

転移学習による

- 学習の高速化
- 外挿性を獲得

訓練可能性 (Trainability)

AIが提示する訓練プログラム
を用いてオペレーターが障害
対応訓練



[Settles,2009]

能動学習により過去の
データのラベリングを
訓練プログラムに組み
込むとして提示

まとめ：3. AIとの協働による信頼性エンジニアリングの検討

- 現代から2040年代（技術特異点含む）までの道筋を3つのフェーズに分離し、今回は、技術者がAIと協働可能なレベルを検討する。
- 運用データを広く入手できない制約の範囲では、**異常のデータを自ら作り出し学習する**必要がある。
- オペレーターとAIが**対話的にシステムの特徴を協働学習**するコンセプト「**Interactive AI Ops**」を提唱する。
- 対話の基本型は、**実験可能性**（AIに教える）と**解釈性**（AIから説明）である。

アジェンダ

1. クラウドにおける信頼性エンジニアリング

現在、どうなっているのか

2. AI時代における信頼性エンジニアリングの未来

20年先の未来でどうありたいか

3. AIとの協働による信頼性エンジニアリングの検討

4. おわりに

未来と現在の差を埋める道筋はなにか

本講演全体のまとめ

現在

- Site Reliability Engineeringは、信頼性を制御対象とする。
- AIOpsの研究が活発でありつつも、補助的な情報支援に留まる。

未来

- 2040s：標準化・宣言指向から個別化・対話指向の時代へ変遷。
- 信頼性を個別の均衡点へ、利用者がAIとの対話的かつ体験的に収束。

道筋

- AIと技術者の協働 → AIによる障害の自律対応 → 利用者が信頼性を制御
- データが不足する前提では、異常を自ら作り出していく必要がある。

**対話と体験（実験）による協働的な情報システムの製作と制御。
システムの基本要素である信頼性にも及ぶ。**

本構想の今後の検討事項

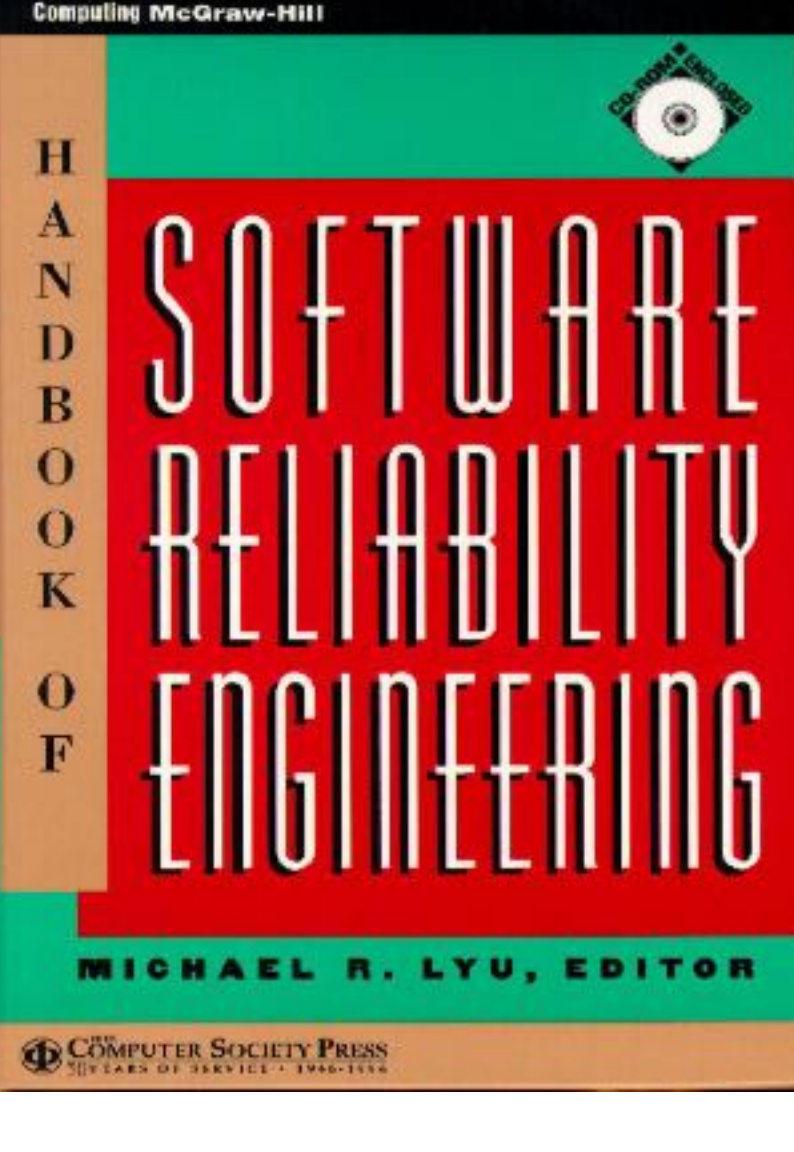
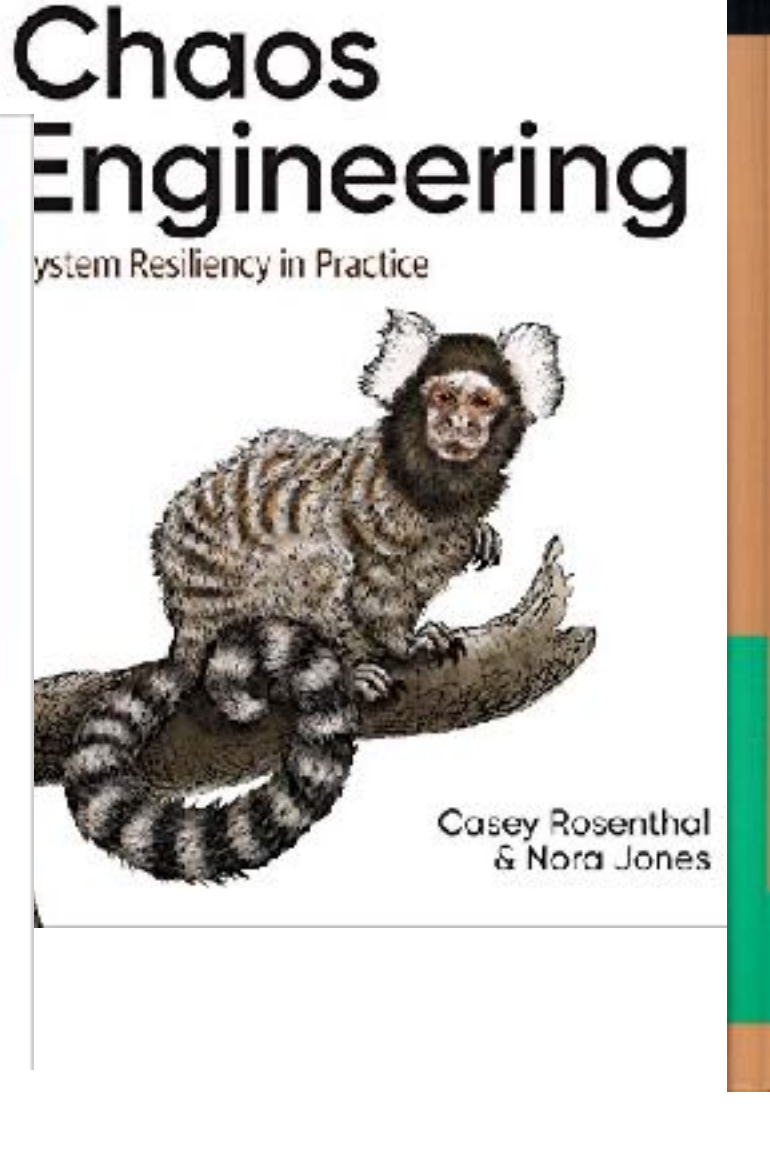
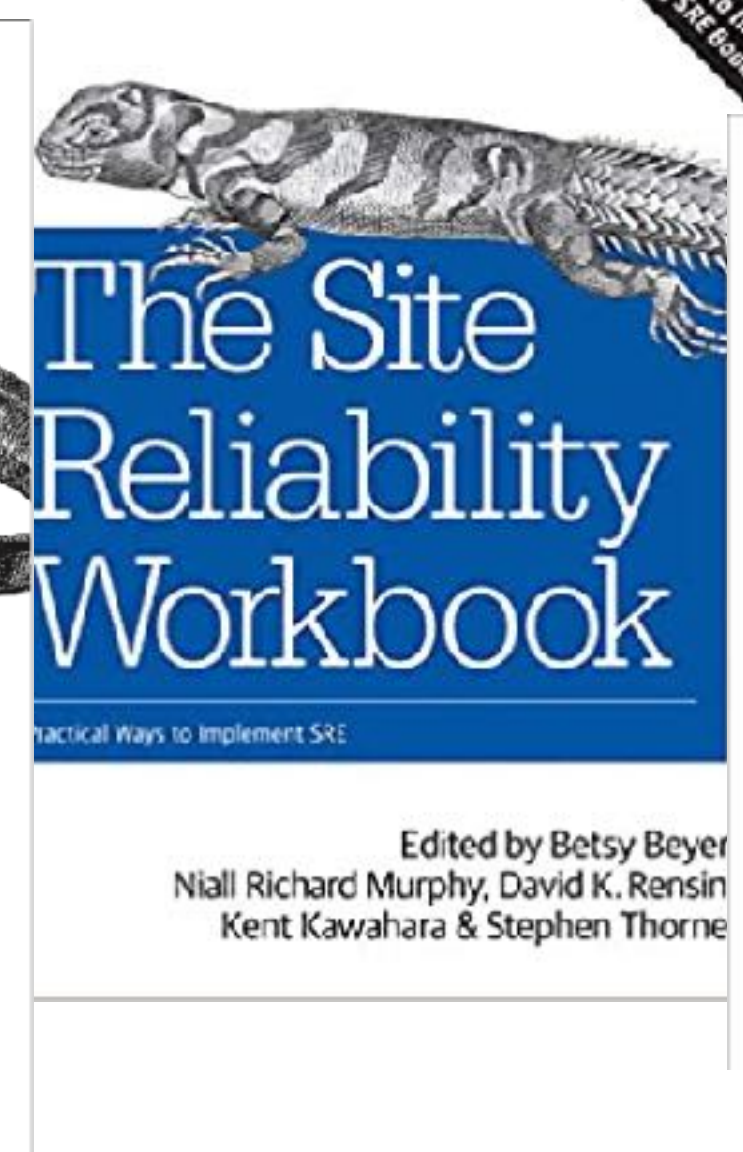
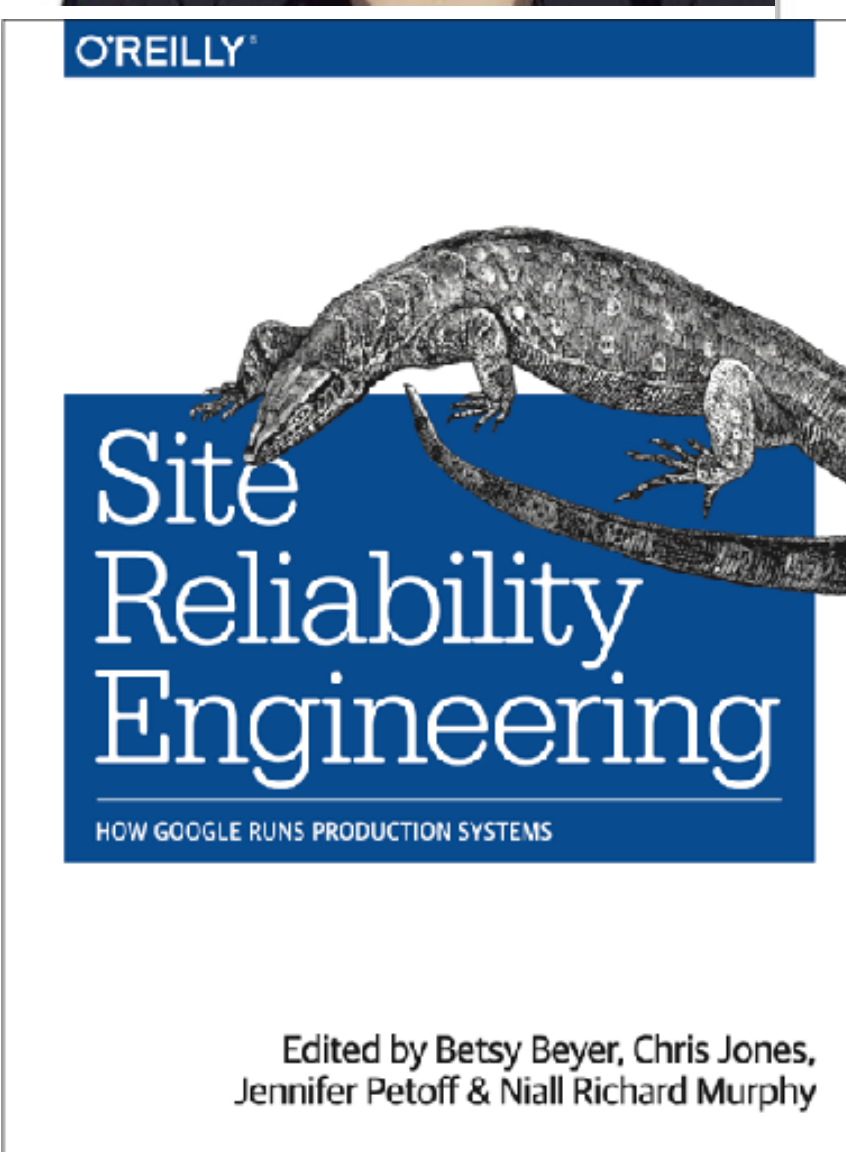
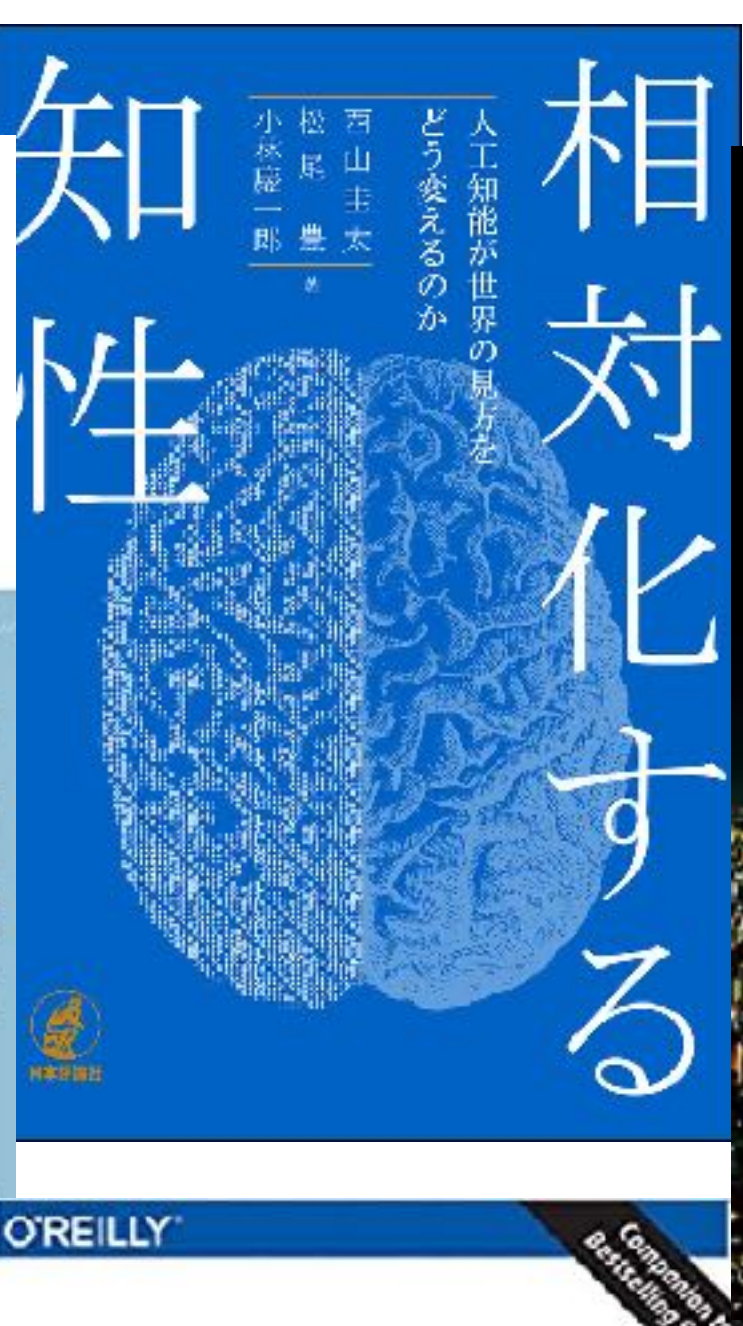
AIの能力が向上するにつれて、技術者にとってのブラックボックスの範囲が大きくなる

Ironies of Automation [Bainbridge, Pergamon1983]

制御システムが高度になればなるほど、人間のオペレーターの貢献がより重要になるという皮肉

どこまでAIを信じるのか、AI自体の信頼性にどうアプローチするか

主な参考図書





ご清聴ありがとうございました

共同での議論・研究、
ディスカッション、支援など
をお待ちしております