

デジタルアニーラご紹介

Fujitsu Quantum-Inspired Computing

Digital Annealer

【事例編】

富士通株式会社

社会課題の解決を目指して



物流事例

自動車製造に必要な部品の 物流ネットワークを最適化

- ✓ 数百を超える仕入れ先から部品を仕入れ、数か所の中継倉庫を通り、数十の工場へ配送する大規模なルートを探索する問題を計算
- ✓ トラック数、総走行距離、仕分け作業などを含めた物流コストの最適化、2%～5%削減
- ✓ 30分以内に求解

プレスリリース：2020年9月

<https://pr.fujitsu.com/jp/news/2020/09/10-1.html>

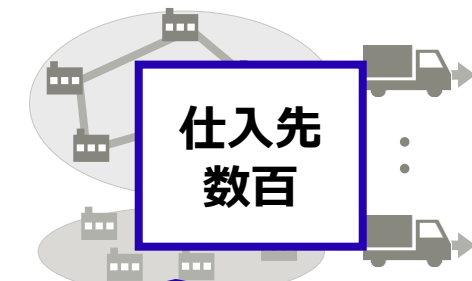
FUJITSU



配送計画
最適化

■大規模な物流ネットワークのコスト最適化

1. 部品仕入先から部品を収集



組合せ数はさらに...



■小規模なエリア収集だけでも組み合わせ数は膨大

- ・仕入先数：10拠点
- ・組立工場：1拠点
- ・トラック台数：5台
- ・1ルートで回る拠点数：5拠点以下



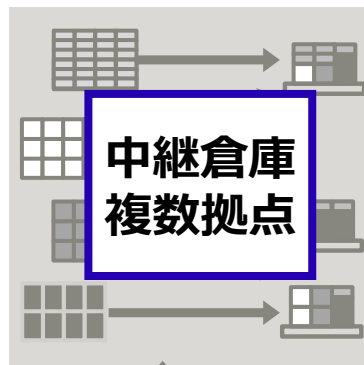
280垓通り

※1垓：10²⁰

仕入先数百で天文学的な数字に

直配送

2. 中継倉庫で部品を集約



組合せ数はさらに...



中継倉庫間配送

3. 車両組立工場へ配送



- ・ 人手では数か月かけて作っていた物流ルートを30分で探索
- ・ 従来手法に比べ2%～5%のコスト削減効果を見込む

物流事例

自動車専用輸送船への車両の積み付けプランを最適化

- ✓ 専門のプランナーが手作業で行っていた積み付けプラン作成業務を自動化
- ✓ 業務の効率化により、年間4,000時間もの労働時間を削減
- ✓ 急な計画変更への迅速な対応や、プランの品質バラツキの防止も実現

2021年9月 プレスリリース
<https://pr.fujitsu.com/jp/news/2021/09/2.html>

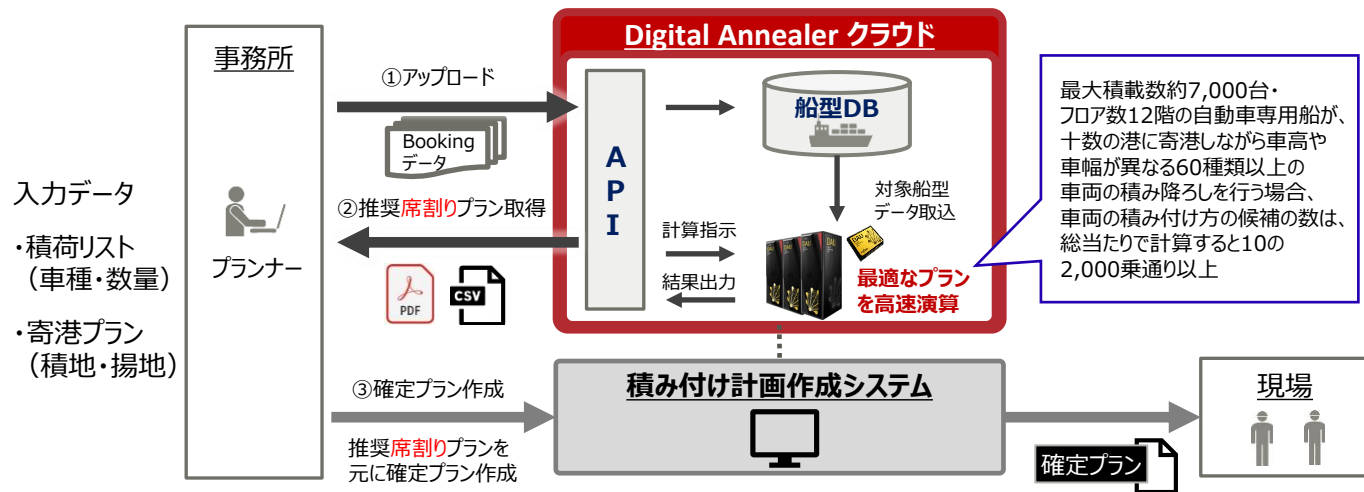
A circular icon containing a clock face, representing time or duration.

積み付けプラン
最適化

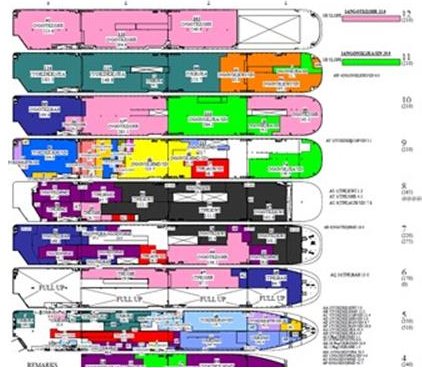
自動車専用輸送船への積み付けプランの最適化

■ 自動車専用船の積み付け計画作成業務を効率化

- 人手による積み付け計画作成作業を自動化、業務の効率化により労働時間を大幅に削減
- 急な輸送計画の変更に迅速に対応することが可能
- 経験値や技量による担当者ごとの積み付け計画の品質のバラつきを防止



出力プラン（席割りプランの例）



年間4,000時間以上の労働時間の削減を実現

生産計画事例

大規模な生産計画を最適化

- ✓ 従来手法で解けなかった大規模問題として知られる生産計画問題を最適化
- ✓ 多品種少量のサーバ生産スケジュールを作業順序、作業者の技能レベル、休憩時間、設備利用可能時間など複雑な制約条件下で計算
- ✓ 作業数100、設備数12、作業者数13、時間スロット65で100万ビット規模の問題を求解

プレスリリース：2020年 11月9日

<https://pr.fujitsu.com/jp/news/2020/11/9.html>

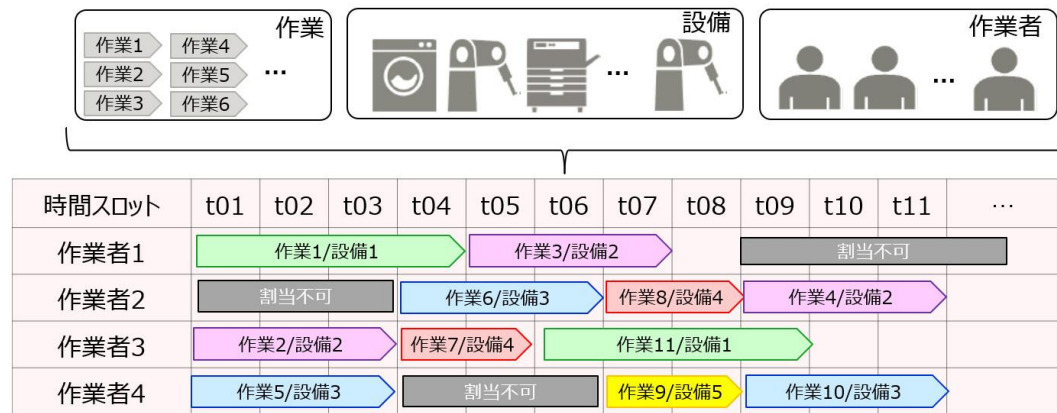
FUJITSU



生産計画
最適化

生産スケジューリングの最適化

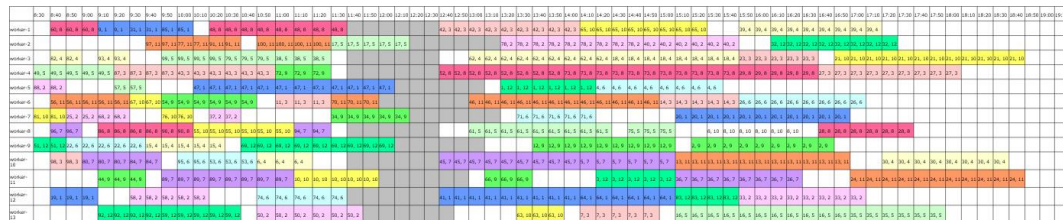
100万ビット級の実用問題を求解



課題

複数の作業に対し、作業者と各設備を適切な時間スロットに割り当て、更に資格やスキルを条件設定したスケジュールを作成

100万ビット問題スケジューリング結果 [100作業×12設備×13人×65スロット]



複雑な制約条件を満足させ
作業順序、設備利用時間に
適切な人員を割り当て

倉庫事例

工場内のピッキングルートおよび商品棚配置の最適化を実現

- ✓ 部品の出庫・入庫業務のルートを最適化
- ✓ 部品棚の相関関係を分析し、棚の位置を見直すことで、ピッカーの移動距離を最大で45%短縮
- ✓ 複数フロアをまたいだルートの最適化も実現

公開事例

<https://www.fujitsu.com/jp/digitalannealer/case-studies/201804-fjit/>

The Fujitsu logo is located in the top right corner of the image. It consists of the word "FUJITSU" in a red, sans-serif font, with a red infinity symbol above the "i".

FUJITSU

A photograph of a male warehouse worker in profile, wearing a black polo shirt and an orange high-visibility safety vest. He is standing in a warehouse aisle, reaching up to adjust a red metal component on a blue industrial shelving unit. The background shows more of the warehouse structure with various boxes and equipment.

最大で
移動距離を
45%削減

ピッキングルートおよび商品ロケーションの最適化

- 最適化したピッキングルートから**需要の多い商品棚**を算出し、
倉庫内商品棚のロケーション再配置を提示

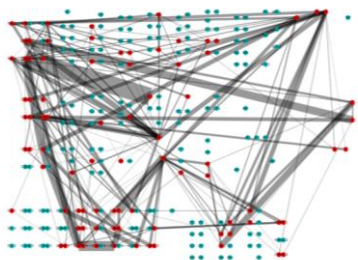


ピッキングルート最適化と組み合わせて
運用していくことで、**ピッキング作業の更なる
改善**が可能



実際のロケーション変更をせずに、
ロケーション変更による効果を**シミュレーション、
最適なロケーション提案**が可能

Before



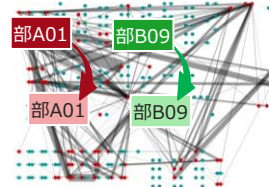
部品需要を考慮せず商品棚を
設置しているため、ピッキング作業
も効率的でなく、ピッキングルート
も最適化されない

- ① 最適化したピッキングルートから
需要の多い商品を抽出



ピッキングが多い商品リスト
No.1 部品A01、部品B09
No.2 部品C10、部品D08

- ② ピッキングが多かった部品を移動した
(近づけた) 仮想ロケーションマップを作成



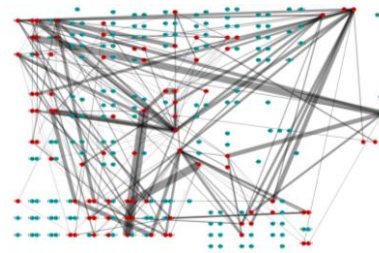
デジタルアニーラクラウドサービス



解を探索

ロケーション変更後のピッキング
ルートをデジタルアニーラで
シミュレーション

After



ロケーション変更後の
ピッキングルートの改善効果の
提示が可能

サービス事例

フィールドサービスにおける 要員計画を最適化

- ✓ 移動時間やスキルを考慮し、
全作業員の作業時間を短縮
- ✓ ベテランの主任クラスが勘と経験に頼り、
1時間かけていた作業の割り当てを
30秒程度で求解
- ✓ 突発的に発生する作業にも対応

富士通テクニカルレビュー：2021年7月15日

<https://www.fujitsu.com/jp/documents/about/resources/publications/technicalreview/topics/article010.pdf>

FUJITSU



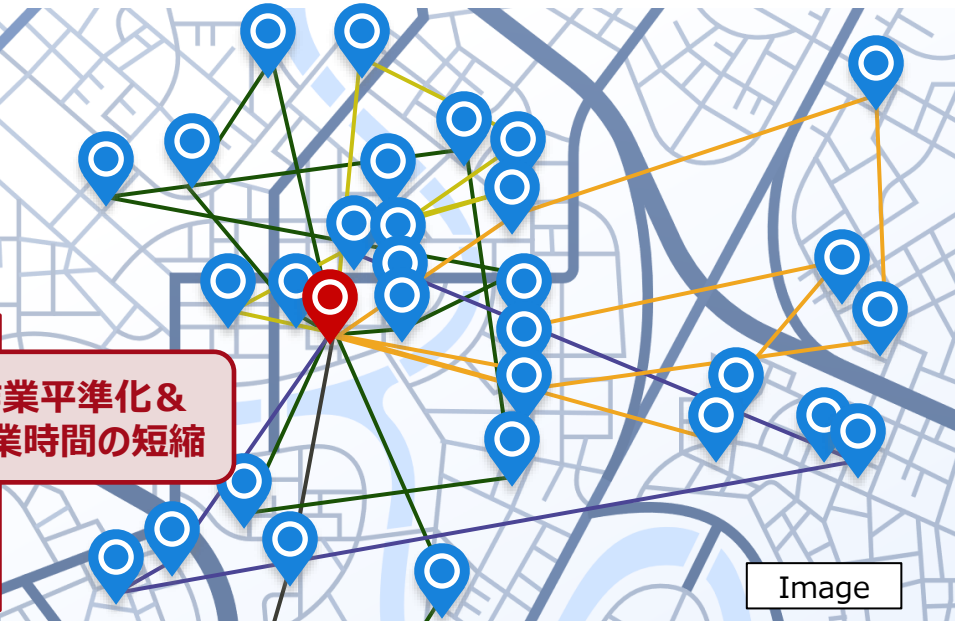
要員計画
最適化

■ 作業可能時間、作業順序および移動時間を考慮して最適化を実施

従来	
作業員A	移動 作業A1 移動 突発作業 移動 作業A2
作業員B	移動 作業B1 移動 作業B2
作業員C	移動 作業C1 移動 作業C2 移動 作業C3
⋮	

最適化	
作業員A	移動 作業A1 移動 突発作業 移動 作業B2
作業員B	移動 作業B1 移動 作業A2
作業員C	移動 作業C1 移動 作業C2 移動 作業C3
⋮	

作業平準化 & 作業時間の短縮



Image

- ・ 勘と経験による作業の割り当てを自動化
- ・ 30秒程度で求解、突発的な作業にも対応可能であることを実証

創薬・材料事例

中分子創薬において ペプチドの安定構造を予測

- ✓ アミノ酸が環状に連なった環状ペプチドの安定構造群を、デジタルアニーラを活用して予測
- ✓ 現実的な時間で計算が困難であった安定構造計算を12時間で実現、候補化合物の絞り込みを加速
- ✓ 有効性が高く、かつ副作用の少ない中分子医薬品の候補化合物の創出に向けて、協業を実施

プレスリリース：2020年10月

<https://pr.fujitsu.com/jp/news/2020/10/13.html>



FUJITSU



分子構造
最適化

創薬・材料事例

創薬・バイオテクノロジー研究における タンパク質構造予測への応用

- ✓ タンパク質側鎖の最安定構造をデジタルアニーラを活用し予測
- ✓ $\sim 10^{100}$ 通りの候補構造中から最安定構造を数分以内で探索
- ✓ 研究対象タンパク質の立体構造予測精度を向上させ、研究開発を加速

公開事例

<https://www.fujitsu.com/jp/about/resources/case-studies/vision/toray/>



分子構造
最適化

材料事例

少量・断片的・偏ったデータを最大限に 活かす混合物設計支援

- ✓ 複数の要求特性に対して最適な混合成分・比率・プロセス条件を膨大な組み合わせ候補の中から探索
- ✓ 候補数が多く、複雑な問題でデジタルアニーラが威力を発揮
- ✓ 有機・無機、固体・液体問わず、幅広い混合物に適用可能

関連特許：特開2021-127418



混合・配合条件
最適化

■ 混合冷媒探索

■ 低環境負荷冷媒(SF-10)ベースの混合冷媒

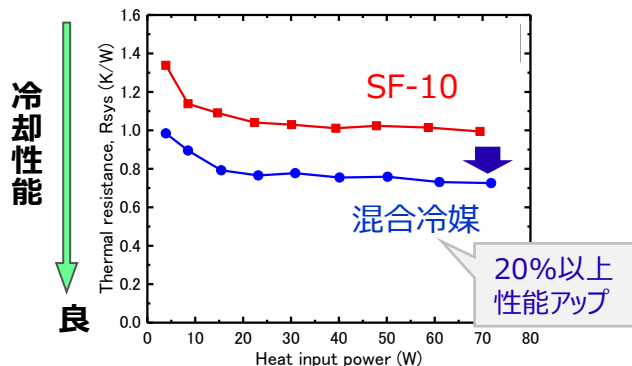
探索条件

混合候補：約40種類
→ 3成分混合

要求特性

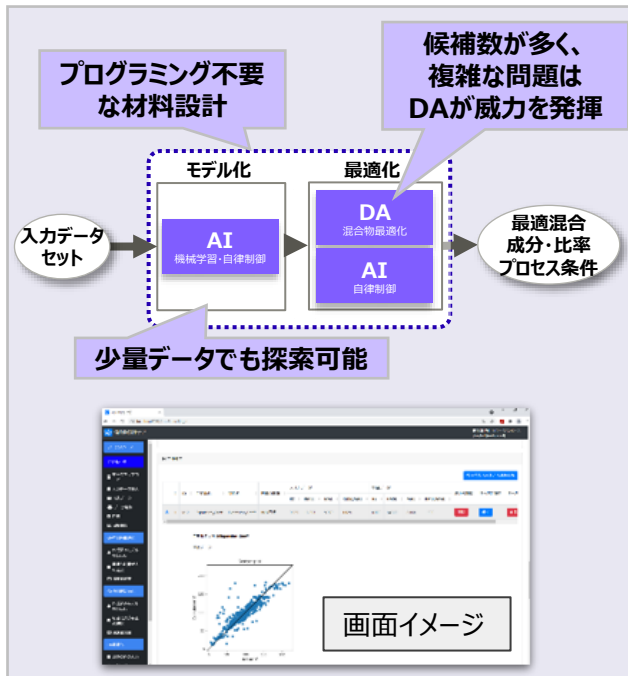
- ・ 熱伝導率：高
- ・ 引火点：高
- ・ 比熱：大
- ・ 粘度：低

探索結果の実証実験



混合物設計ナビ(仮称)

材料開発で重要な「混ぜる」業務を支援する一気通貫型の材料設計ソリューション



デジタルアニーラを使うと、膨大な混合・配合条件の組み合わせから高速に最適な解を探索可能

材料事例

分子・結晶構造の類似性に着目した 確度の高い材料候補の絞り込み

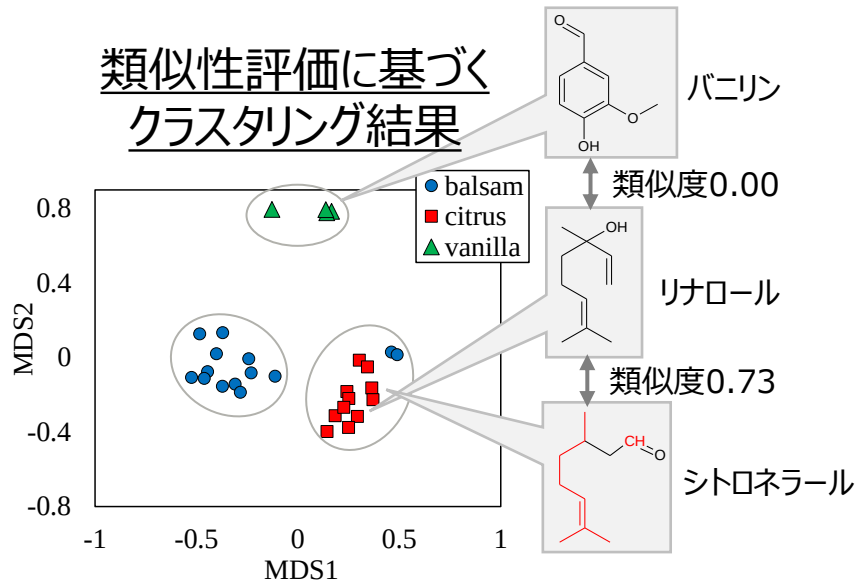
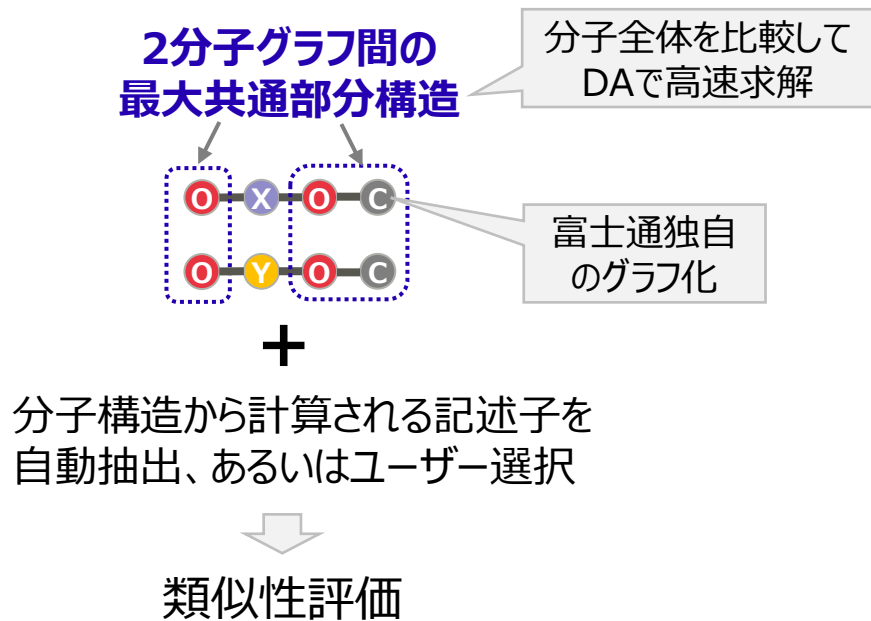
- ✓ 膨大な候補の中から、高性能・低コストを望める代替材料を構造観点で素早く絞り込む
- ✓ デジタルアニーラ&AI & 富士通独自の分子・結晶構造グラフ化技術によって、確度の高い類似度計算を実現
- ✓ 香料分子のクラスタリングや電池材料の設計に適用

関連特許：特願2020-9953



材料候補
スクリーニング
高精度化

■ 香料分子のクラスタリング



クラスタリング指標	ARI	SS	調整ランド指数(ARI), シルエットスコア(SS)
フィンガープリント法(従来)	0.41	0.30	
DA利用手法	0.76	0.69	

デジタルアニーラを使うと、代替材料の高速＆高精度な絞り込みが可能

材料事例

計測スペクトルと材料特性の関係性 抽出を可能にする正則化技術

- ✓ 材料特性に直結するデータ領域を、分析データ (スペクトル・画像) から素早く抽出
- ✓ 抽出結果から特性予測やスクリーニングが可能に
- ✓ ニッケル水素電池用正極材料の開発と特性メカニズムの解明に適用

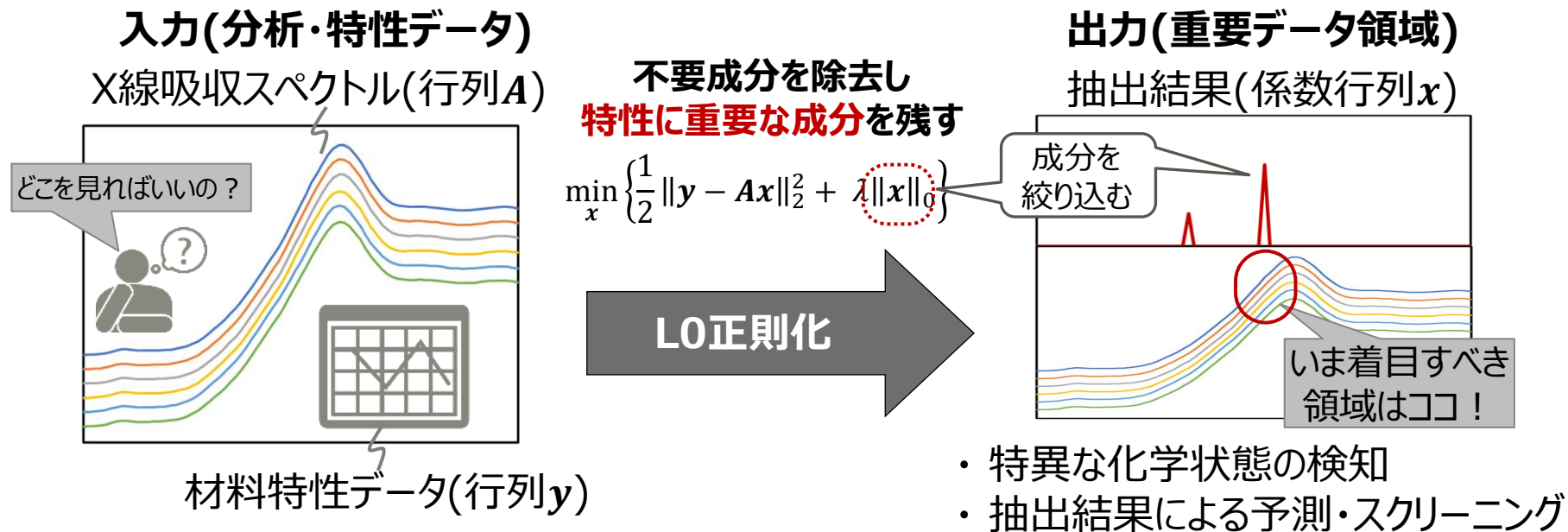
サンビーム年報・成果集 vol.11 2021

https://sunbeam.spring8.or.jp/top/seika/annual_report/vol11/vol11_2021.pdf (p.31)



影響因子特定
高精度化

■ ニッケル水素電池用正極材料の開発と特性メカニズムの解明



抽出結果の分析により、見落としのない材料開発・品質管理が実現

設計事例

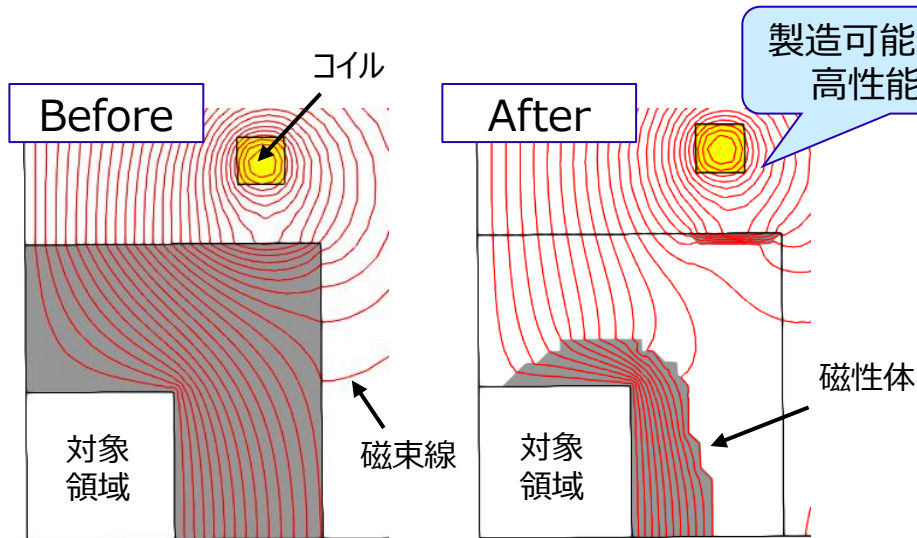
デバイス形状の広範囲 & 高速探索が 可能なトポロジ最適化

- ✓ 形状をビットマップ化してON/OFF組み合わせをデジタルアニメーションで最適化
- ✓ 広域探索と低計算コストの両立を実現
- ✓ 磁気シールドの最適化に適用して、CAE解析回数を従来法の1/300に削減

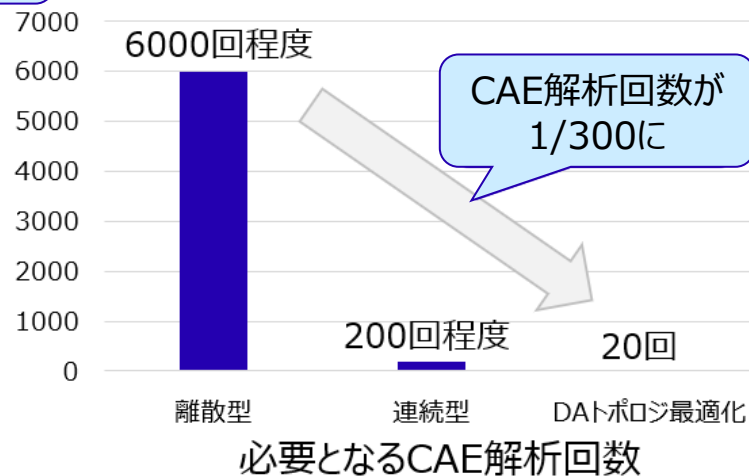
IEEE Transactions on Magnetics に論文投稿中



- コイルから発生する磁束線が対象領域に侵入しないように、できるだけ少ない磁性体でシールド可能な形状を最適化



DAトポロジ最適化の効果



人間の発想では到達しえないデバイスの最適形状を高速に探索

金融事例

運用資産の着実な成長に貢献する ポートフォリオのリスクとリターン分析

- ✓ 従来のコンピューティングでは膨大な計算量のため事実上不可能であった数百銘柄の組合せ最適化計算がわずか10分程度で導出
- ✓ 精度の高い計算に基づいた分析結果を実際の資産運用業務に活用

プレスリリース：2020年2月

<https://pr.fujitsu.com/jp/news/2020/02/7-1.html>

The Fujitsu logo is displayed in red, featuring the company name in a stylized font with a circular emblem above the 'i'.

ポートフォリオ
最適化

金融事例

資産ポートフォリオの 組合せ最適化問題を高速に解決

- ✓ 100以上の資産のポートフォリオ計算に適用
- ✓ 旧来の計算手法では対応できず、勘や試行錯誤
- ✓ リスク最小化/リターン最大化のみならず、
売買時期の最適化も視野に入れ検討

プレスリリース：2020年7月

<https://www.fujitsu.com/emeia/about/resources/news/press-releases/2020/emeai-20200529-bbva-bank-selects-fujitsu-s-quantum-inspired.html>

FUJITSU



ポートフォリオ

最適化

医療事例

病院経営の最優先事項である 手術室の稼働率向上に貢献

- ✓ 過去の手術実績、フォーキャスト、手術室/各種機材等のリソース情報及びその他条件に応じ、数か月分の手術スケジューリングを最適化
- ✓ スケジューリング作業時間の大幅な短縮（1時間以下）及び稼働率向上を実現
- ✓ 様々な想定シナリオでシミュレーションすることにより、設備投資の効果予測にも活用可能



設備稼働
最適化

交通流改善事例

港近郊の交通信号機制御の 最適化によるトラック交通流の改善

- ✓ 港近郊を最大2万台/日のトラックが走行、渋滞を起こし、貨物輸送が遅延、CO₂排出量増加
- ✓ 各交差点での信号機の制御を「組合せ最適化問題」に置き換え、エリア内全体の車両の平均移動速度を最大とするような点灯パターンの組み合わせを求め、その解に従って各交差点の信号機を制御、最適化し、交通流を改善
- ✓ 車両の移動時間を最大で15%短縮、CO₂排出量を最大で9%削減、スマートシティ実現に向けての基盤技術として期待

プレスリリース：2021年12月

<https://www.fujitsu.com/emeia/about/resources/news/press-releases/2021/emeia-08122021-fujitsu-quantum-inspired-optimization-services-cut-traffic-jams-and-co2-emissions-at-hamburg-port.html>



信号機制御
最適化

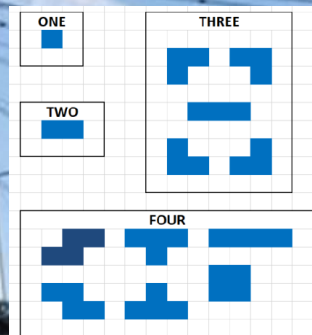
観客席割当最適化事例

観客席配置を高速に最適化 コロナ禍のスポーツイベントの安全運営と 収益性向上に寄与

- ✓ 市松模様のような固定の割当ではなく、イベントに応じて1～4人のグループ席をソーシャルディスタンスを保って割り当てる
- ✓ 観客席割当を高速に計算・最適化
観客席割当数を従来に比べ60%増やし、
チケット収益の大幅増加が可能なことを確認

プレスリリース：2021年6月

<https://pr.fujitsu.com/jp/news/2021/06/17.html>



グループ席 + ソーシャルディスタンスによる
観客席割当

FUJITSU



観客席割当
最適化

トロント大学とのパートナーシップ

- 量子コンピュータやAIの分野で世界トップクラスの研究大学
- 2017年11月に新しい共同研究拠点を開設
(名称 : Fujitsu Co-Creation Research Laboratory at the University of Toronto)
- スマート交通、ネットワーク、金融、医療分野で共同研究を開始



早稲田大学とのパートナーシップ (包括的連携活動協定締結)

■ 実社会の組合せ最適化問題をデジタルアニーラで解決する
共同研究を2019年4月より実施中

■ 早稲田大学の全研究を対象に、研究テーマを広く募集

■ 共同研究拠点を開設 (名称 : Fujitsu Co-Creation Research Laboratory at Waseda University)



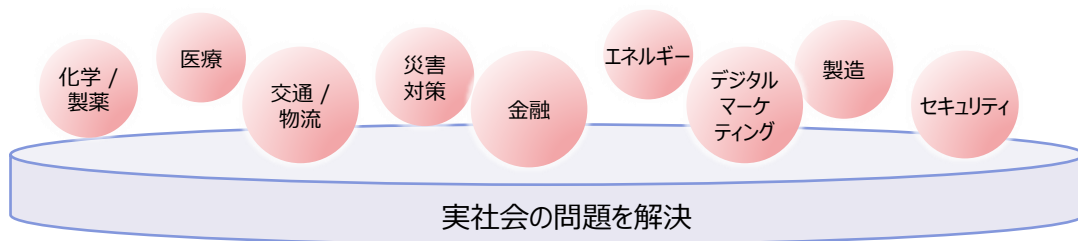
WASEDA University
早稲田大学

プレスリリース

富士通研究所と早稲田大学、「デジタルアニーラ」
に関する包括的連携活動協定を締結



※研究テーマによっては民間企業も契約可能



組合せ最適化問題をデジタルアニーラで解く共同研究



WASEDA University
早稲田大学

FUJITSU

民間企業

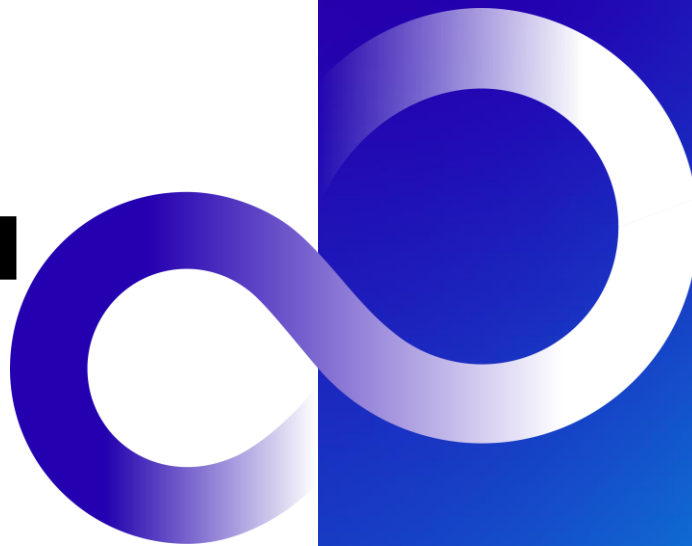
取組テーマ

AIの発話計画の最適化

Web広告の効果最大化

住宅用エネルギーシステムの
組合せ最適化

Thank you



デジタルアニーラ公開サイト

<https://www.fujitsu.com/jp/digitalannealer/>