

量子アニーリング・疑似量子アニーリング技術の活用

日本電気株式会社
量子コンピューティング統括部
百瀬真太郎

量子アニーリング・疑似量子アニーリング技術の活用調査

量子/疑似量子アニーリングの研究開発状況，及び活用事例について調査を実施

技術

- 量子アニーリング（D-Wave Leapなど）
- 疑似量子アニーリング（NEC Vector Annealingなど）

アニーリング
技術

アカデミック領域

- HPC（計算科学）
- HPC（計算機科学）
- 他

アーリー
アダプター

民間利用領域

- 物流
- 製造
- 金融
- 資源探査， など

最適化課題の
多い領域

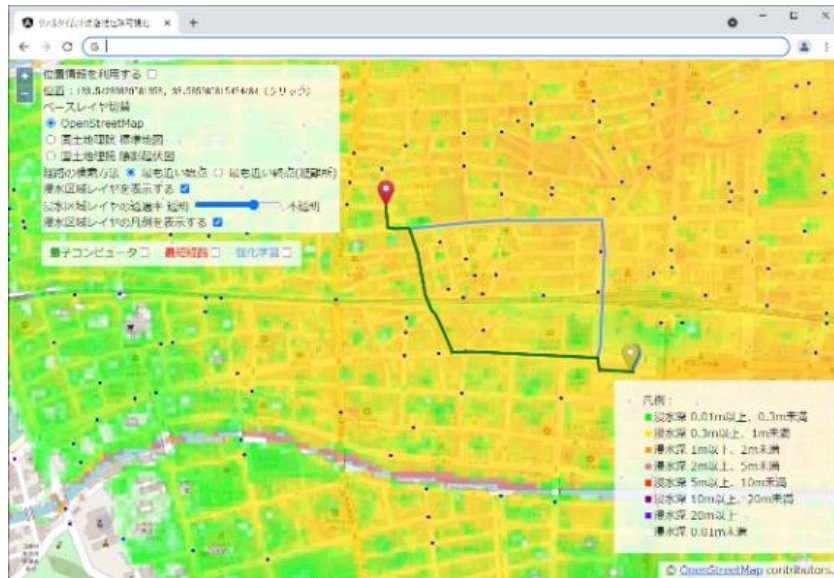
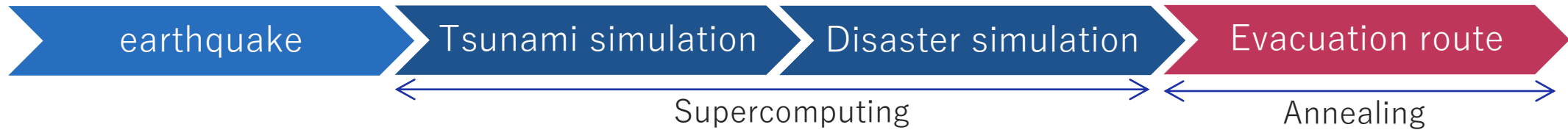
対象国

- 日本
- 米国
- 欧州（主にドイツ・フランス）

HPC・最適化
市場規模大

HPCとアニーリングの連携計算事例

“Next Generation Supercomputing Platform assisted by Quantum Annealing” R&D with Tohoku University



Evacuation Route (Annealing)

Tohoku University

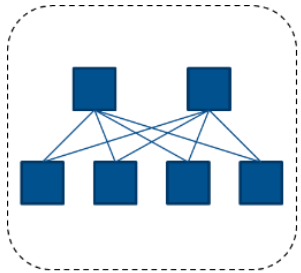
Information Science
Prof. Kobayashi, Prof. Ozeki

Disaster Science
Prof. Koshimura
Associate Prof. Erick

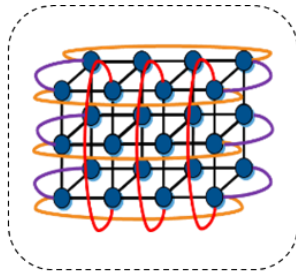
Faculty of Science
Associate Prof. Ota

アニーリングによるHPC最適化の研究

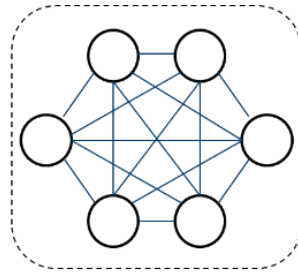
大規模HPCシステムへのジョブマッピング最適化



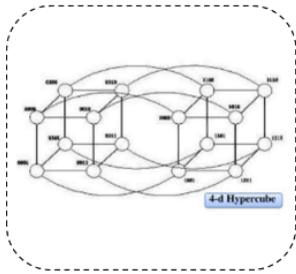
Fat Tree



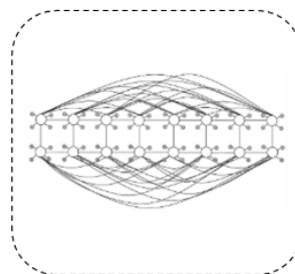
Torus



Dragonfly



Hypercube

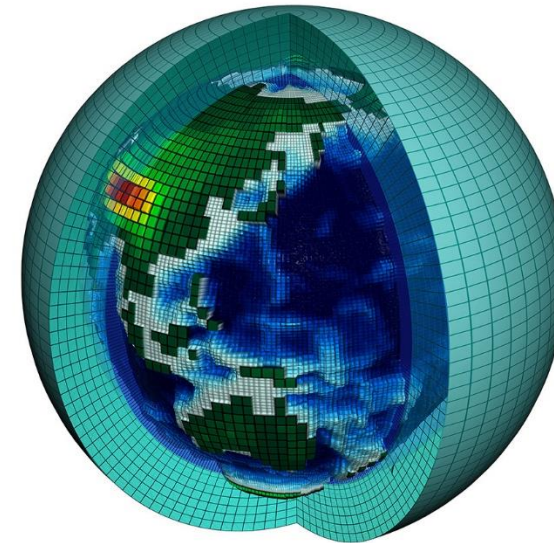


HyperX

<https://www.hpcwire.com/2019/07/15/super-connecting-the-supercomputers-innovations-through-network-topologies/>

大規模HPCシステムへのジョブマッピングは組合わせ最適化問題。
最適化によるシステム稼働率向上や消費電力削減が期待できる

並列処理におけるロードバランス最適化



<https://www.jamstec.go.jp/sdgs/j/case/016.html>

全球モデルにおけるメッシュサイズを場所によって変えることで格子毎の計算量を均一にし、大規模並列処理におけるロードインバランス問題を最適化する

アカデミック分野におけるアニーリング利用状況

- ① 特にHPC分野において，日本・米国・欧州での量子/疑似量子アニーリングの利用状況を調査した
- ② 量子/疑似量子アニーリング技術への関心は高く，既に大規模HPCシステムの最適化や大規模並列処理への最適化応用が研究されている。
超大規模システムであるポスト富岳機においては，アニーリングによるHPCシステムのリソース利用最適化を行いシステム稼働率向上，及びシステム消費電力削減ができる可能性がある（詳細についてFY24継続検討）
- ③ 一方で，HPC分野で量子/疑似量子アニーリング導入事例が少ない理由として以下が考えられる：
 - ・ アニーリングのHPC応用事例が少ないこと
 - ・ 問題の定式化やQUBOモデル利用のハードルがあること
（例えば利用言語がPythonである，定式化がわかりにくいなど）

産業分野・民間利用分野におけるアニーリング活用

産業分野はNP困難な問題が多く，高速かつ自動的に最適/準最適な求解をするニーズが高い



広告/公共/インフラ

通信基地局制御

監視センサー制御



製造

生産計画



交通/物流

配送計画

積荷配置



金融

カード不正検知

ポートフォリオ最適化



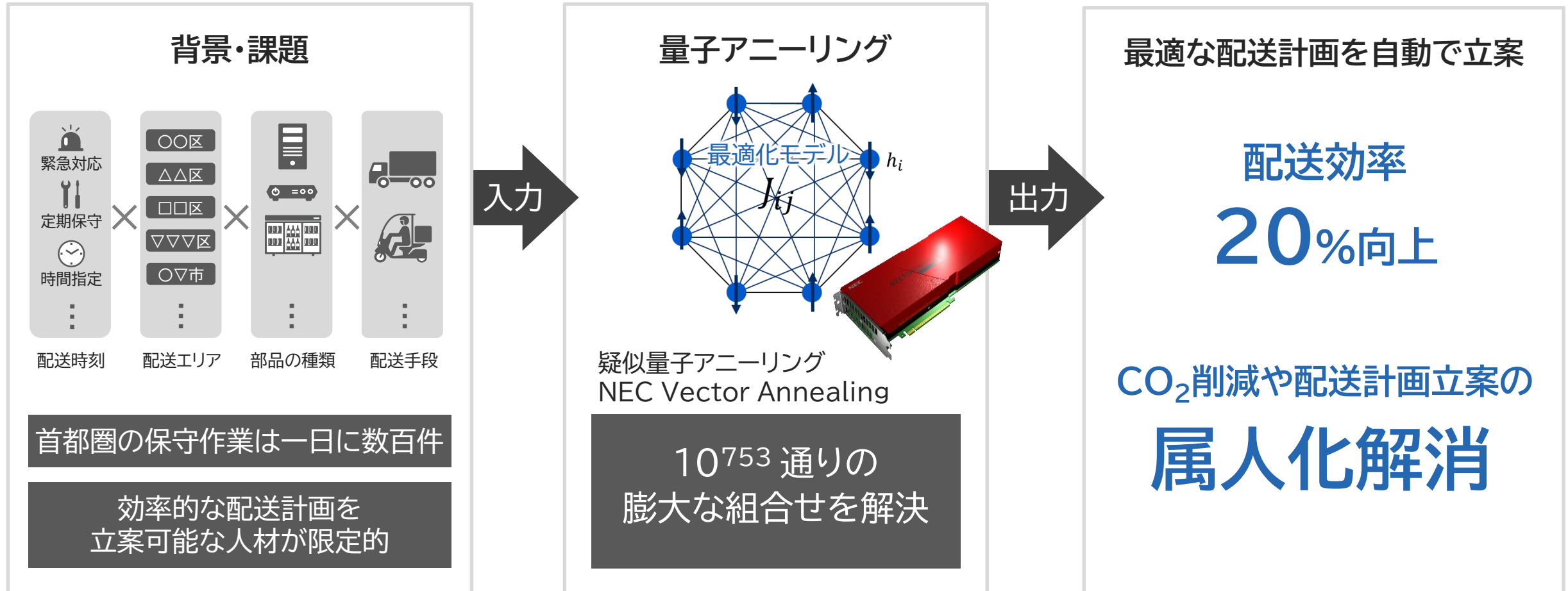
素材開発/創薬

実験パラメータ探索

素材開発

アニーリング活用事例（配送最適化）

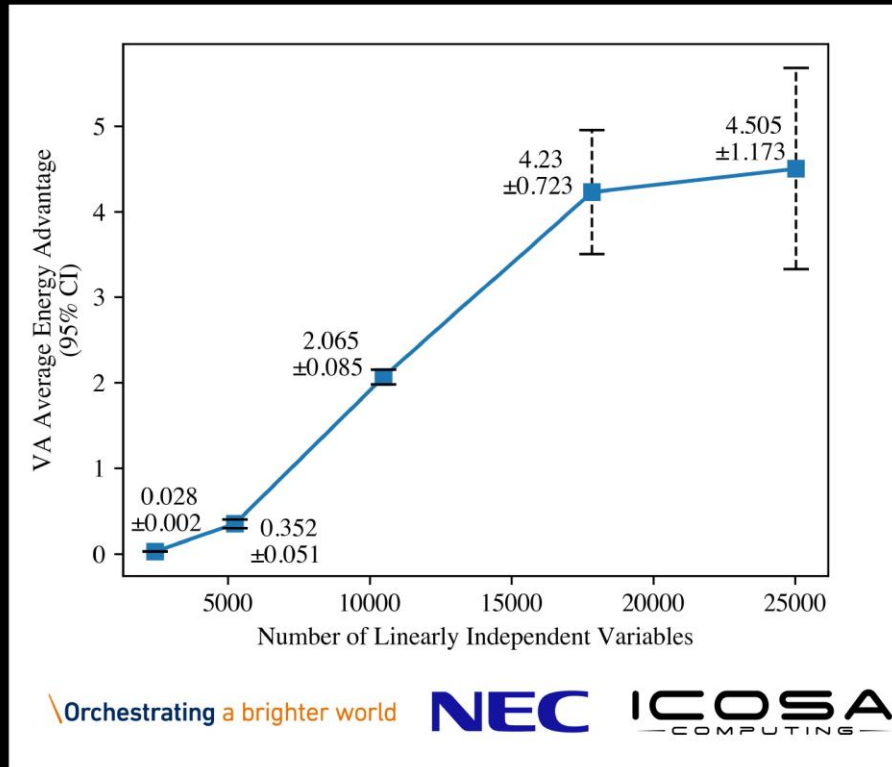
配送時刻やエリア、手段など膨大な組み合わせから、最適な配送計画を自動で立案



アニメーリング活用事例（金融・ポートフォリオ最適化）

Quantum-Inspired Scaling Advantage

Press release & paper coming out with major NEC Vector Annealer



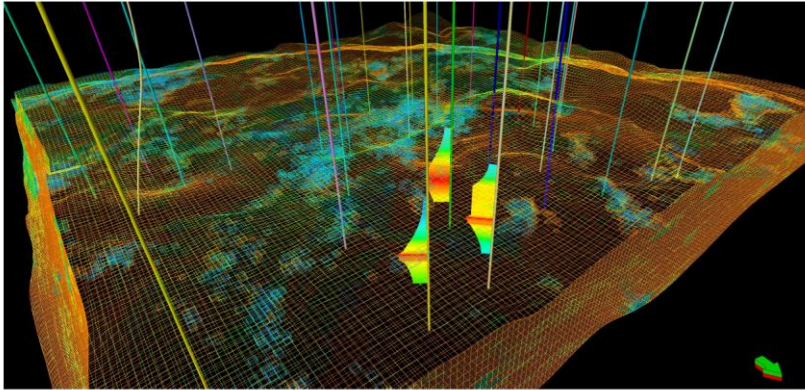
We optimized portfolios with over **25,000** equities, beyond what's available by current methods.

- Over 800 non-convex problems tested, with 340,000 samples generated
- Problem sizes: 2430, 5243, 10486, 17833, 25034
- Paper will include other metrics, such as planted solutions
- Plan to scale >100K variables

Weblink to the whitepaper:

<https://icosacomputingcom.files.wordpress.com/2023/10/icos-whitepaper-1.pdf>

アニメーリング活用事例（資源探査）

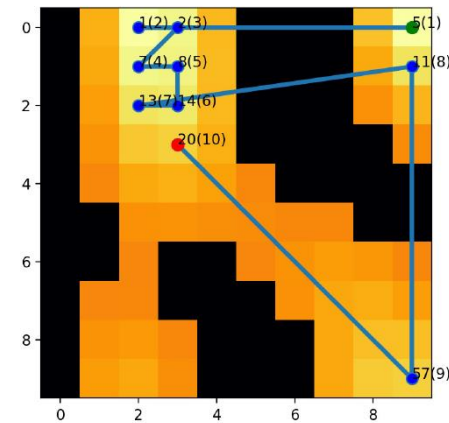


Subsurface modeling is only the beginning of oil field exploration. Given a map of the distribution of oil and a limited number of resources to develop the field, energy companies must plan a drilling sequence that considers:

- The **value of placing** a well at a given location.
- The **cost of moving a drilling platform** from one location to another.
- The impact placement of a well has on neighboring locations (**well interference**)

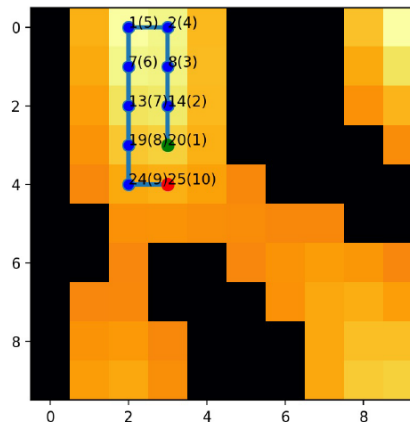


Value Only

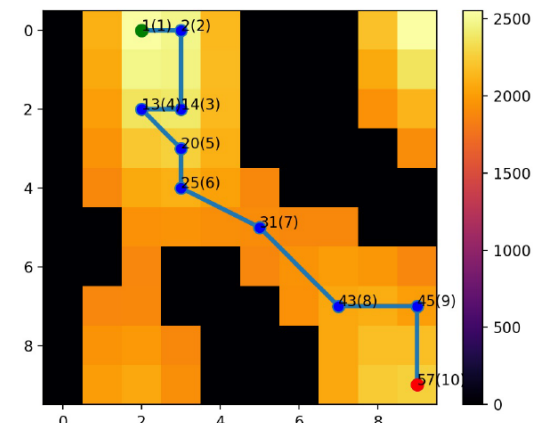


Trivial problem

Value and Moving Costs



Value, Well Interference and Moving Costs



NP-Hard Problem

量子アニーリング・疑似量子アニーリング技術の活用調査まとめ

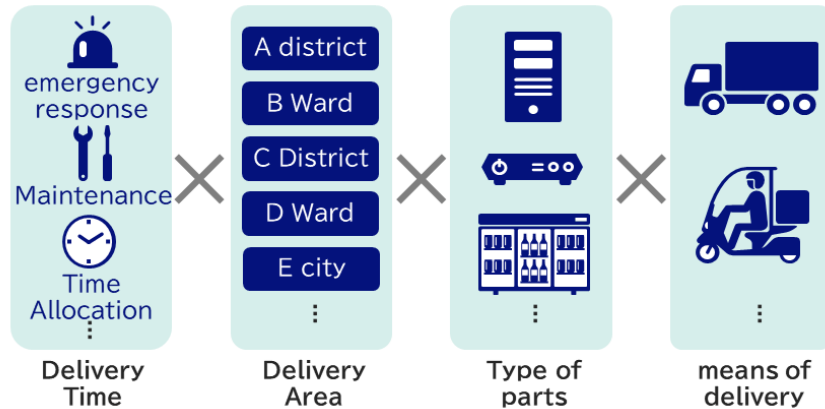
アカデミック領域

- 日米欧において、HPCの加速目的利用は期待が大きいもののユースケースが多くないこと、及びアニーリング利用にはイジングモデルの理解が必要であり**広く利用されるに至っていない**
- HPCの大規模化に伴うジョブマッピングやロードバランシングの最適化にアニーリングを用いる研究が米国で始まっている。**HPCの効率化にアニーリング技術を活用できる可能性が高い**

民間利用領域

- 物流・製造などNP困難な組み合わせ最適化問題が多く、アニーリングによる最適化が注目されている
- 物流や金融の分野において、**アニーリングによる組み合わせ最適化が使われ始めている**
- 一方で、アニーリングの利活用は一般の企業には難易度が高く、**解決すべき課題とそれを解くアニーリング技術適用に大きなギャップがある**

Optimal delivery plans are formulated from a vast number of combinations.

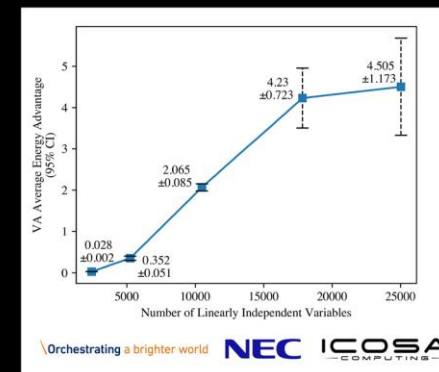


物流最適化のユースケース

人手で行っていた配送最適化にアニーリングを適用。
12倍の高速化、及び20%の効率化を実現

Quantum-Inspired Scaling Advantage

Press release & paper coming out with major NEC Vector Annealer



We optimized portfolios with over 25,000 equities, beyond what's available by current methods.

- Over 800 non-convex problems tested, with 340,000 samples generated
- Problem sizes: 2430, 5243, 10486, 17833, 25034
- Paper will include other metrics, such as planted solutions
- Plan to scale >100K variables

金融ポートフォリオ最適化のユースケース

25,000の株式ポートフォリオ最適化をアニーリングにより実現。
実際の株式市場データを用いた検証で従来手法よりも良好な結果