

—すべてのステークホルダーから信頼され支持される企業へ—

**ADMIRE COMPANY**

**Ciscoテクノロジーコンテスト応募作品**

**量子コンピュータを用いたネットワーク経路最適化**

ネットワンシステムズ株式会社

Team NETQNE

ビジネス開発本部第1応用技術部第1チーム

知念 紀昭、HADI SHAIKH ZAKER、有馬 直堯



# お客様の課題と解決策の提案

## お客様の課題

トラフィック量を考慮したネットワーク経路の選択が行えていない。  
ネットワーク経路を選択する際に、ある経路にペナルティを与えることが出来ていない。  
トラフィック量の最適化計算に時間がかかり過ぎる。

## あるべき姿

ネットワーク機器の各インターフェースのトラフィック量が測定できている。  
ペナルティを考慮した、トラフィック量の集中を避けたネットワーク経路の選択が短時間で行える。  
最適化されたネットワーク経路をダイナミックに機器に反映できる。

## 解決策の提案

ネットワーク機器の各インターフェーストラフィック量を測定する。  
量子コンピュータD-Waveを用いて、ペナルティを考慮された、トラフィック集中を避ける最適なネットワーク経路を選択する。  
選択されたネットワーク経路をCisco DNAを用いてダイナミックにネットワーク機器に反映する。

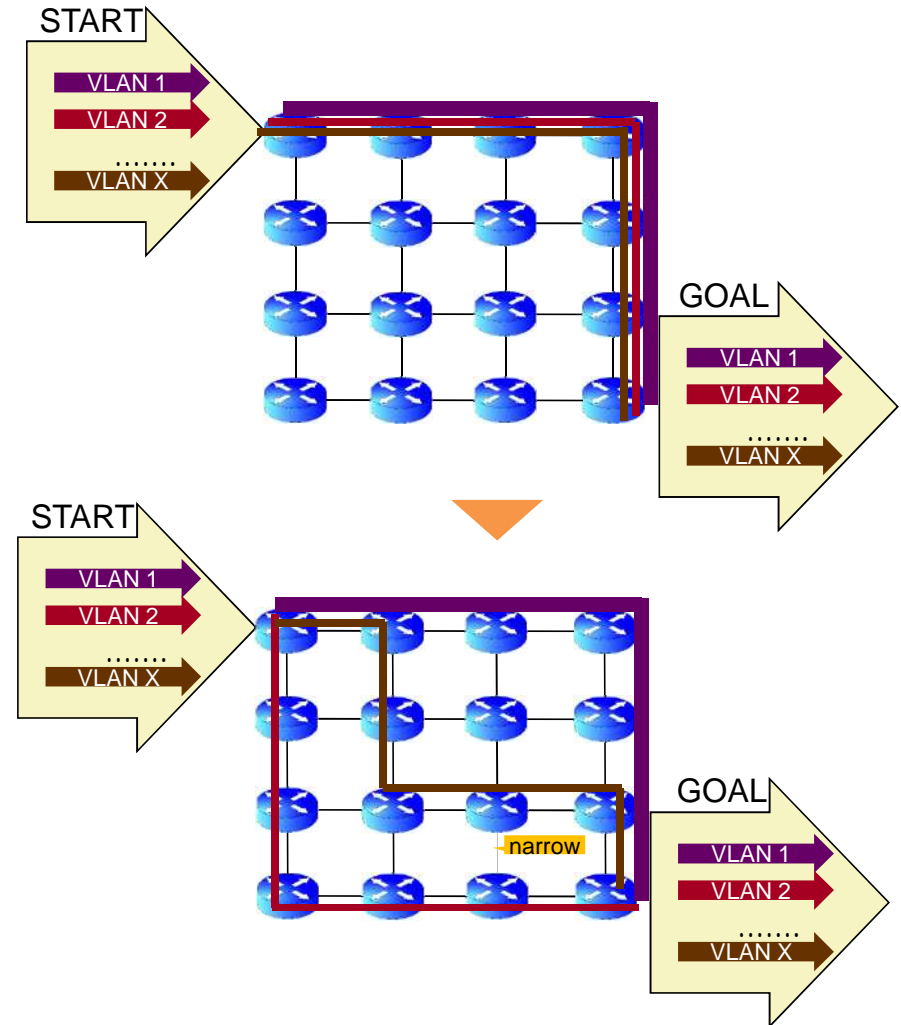
# 既存のネットワーク経路の課題と提案

## 課題

- 既存のルーティングプロトコルは特定の経路を最適解として採用するため、その経路上にトラフィックが集中します。
- ルーティングプロトコル内で扱われているメトリック以外の情報を経路計算で利用できず、実態に即しているとは言い難い状況です。
- 冗長経路を活用してトラフィックを分散させたいが、計算量が多いため動的な最適化は解決困難な問題になっていました。
- 経路計算の範囲/規模によっては高負荷となり、将来期待されているリアルタイム性が求められるサービスに懸念がありました。

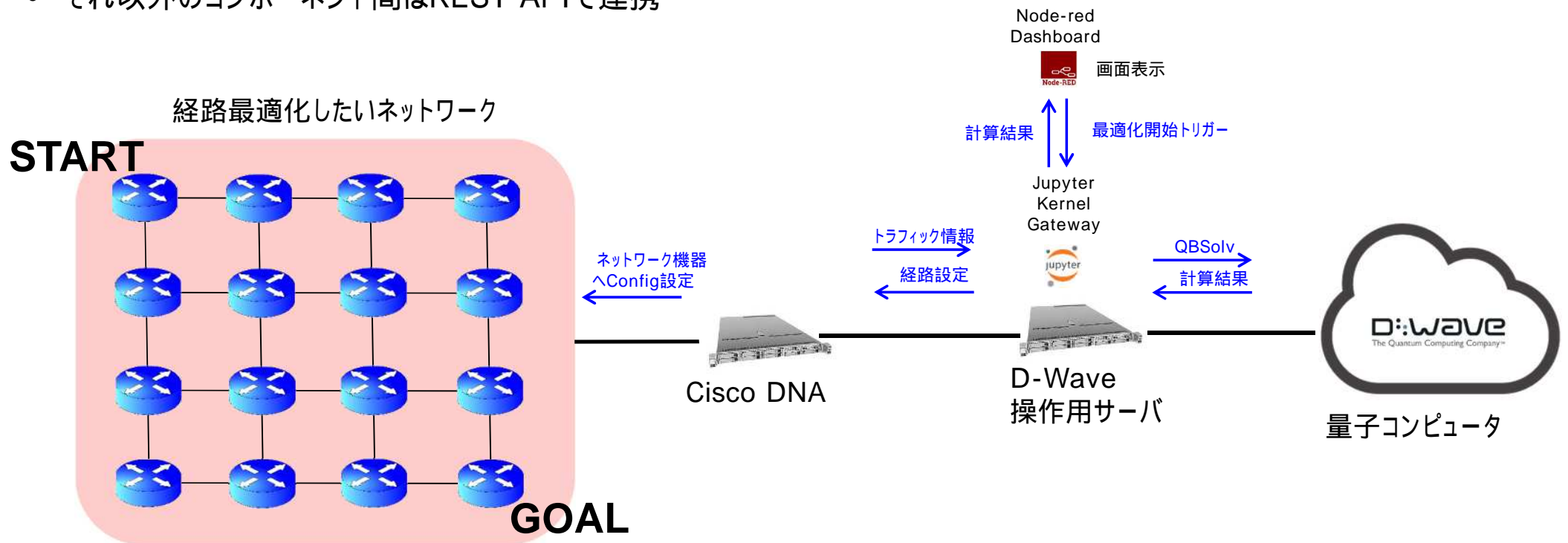
## 提案

- 刻々と変化するネットワークトラフィック量に対して、平滑に経路を分散したいサービスプロバイダや情報システム部門向けの、D-Wave+Cisco DNAという「ネットワーク経路最適化ソリューション」を提案致します。
- ネットワークトラフィック量を考慮した経路選択ができ、従来のダイナミックルーティングプロトコル類や、ノイマン型CPUやGPUを用いた最適化手法とは違って、常に変化するネットワーク経路に対して一瞬で最適解を求めて、ダイナミックに経路を分割・平滑化する機能が備わっています。
- 帯域の狭い経路に対してペナルティをかける機能を備えています。



# システム構成図（論理・物理）

- 刻々と変化するネットワークトラフィック情報を、D-Wave操作サーバで取得
- トラフィック情報をもとに、量子コンピュータD-Waveを用いて即座に最適化経路を計算
- 得られた最適化経路をCisco DNAを用いてダイナミックにネットワークへ反映
- Cisco DNAからネットワーク機器へのConfigはSSH経由で設定
- それ以外のコンポーネント間はREST APIで連携



# NW経路最適化ソリューションGUI画面

トラフィックのヒートマップ

VLANごとのトラフィックの設定

START

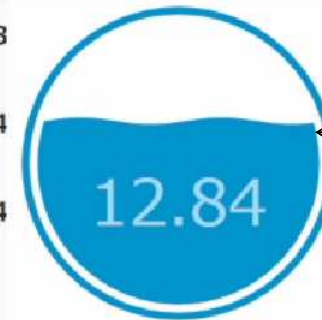
トラフィック  
の流れ

コストを追加  
する経路

アサイン  
された経路

GOAL

VLAN1 :	0.0678571428
VLAN2 :	0.1214285714
VLAN3 :	0.5651785714
VLAN4 :	0.846875
VLAN5 :	0.8125



系全体のコスト

GET TRAFFIC

RESET TRAFFIC

RANDOM

OPTIMIZE

トラフィック  
情報取得

トラフィック  
情報リセット

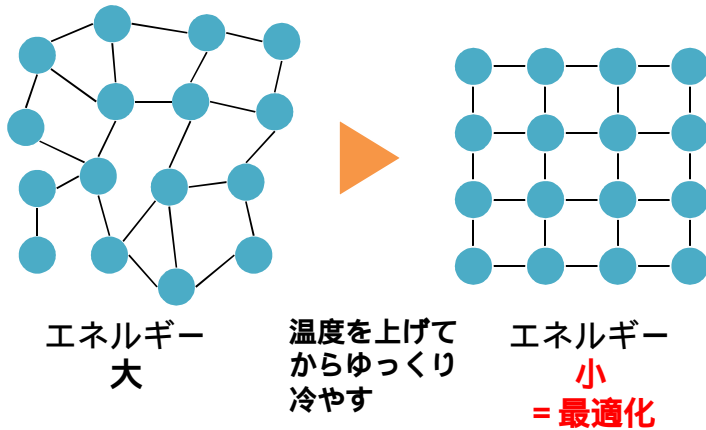
経路をランダム  
にアサイン

量子コンピュータによる最適化

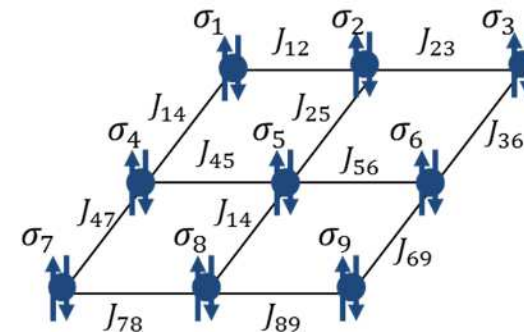
# 量子コンピュータD-Waveについて

- 量子コンピュータは量子力学を利用した、高速に省電力で計算する事を目標とするマシン
- D-Waveは量子アニーリング方式を採用
- D-WaveはRest API経由でクラウドサービスとして利用可能
- 問題をイジングモデルの形式に当てはめて、量子アニーリング法（焼きなまし法）で解く
- 最適化計算、機械学習、量子シミュレーションなどで利用可能

## アニーリングのイメージ図



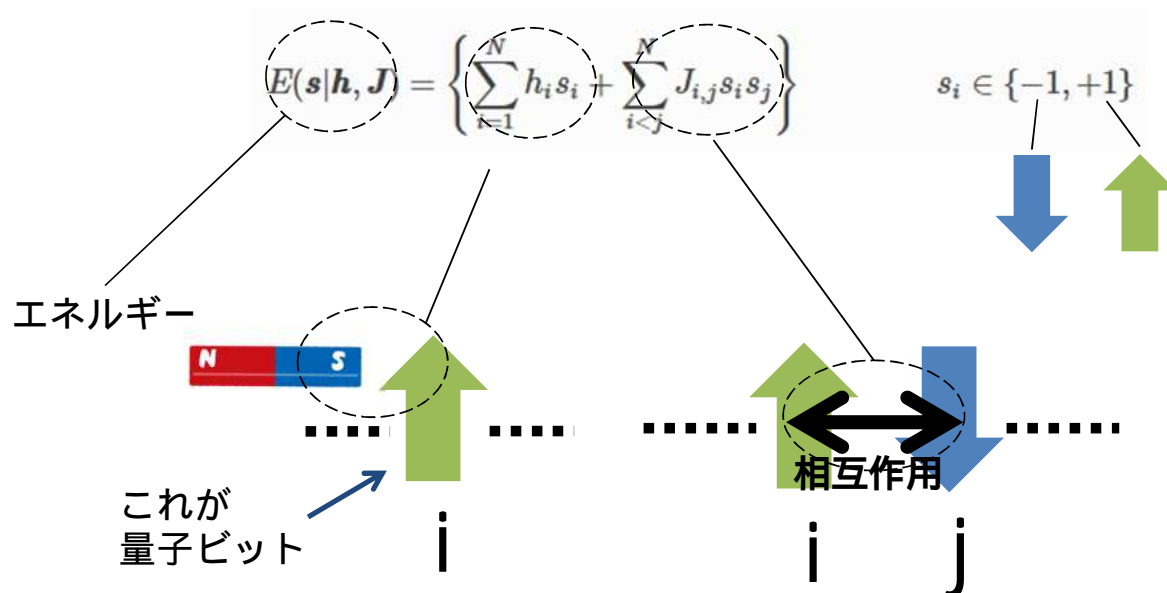
## イジングモデル



結晶を構成する原子の「スピン」の向きを計算する簡易的なモデル

# 量子アニーリングによる組み合わせ最適化

- イジングモデルのエネルギーが最小となる最適解を一瞬で求めます。
- 量子アニーリングでは、電子を用います。
- 電子は と の二つの状態があり、2つの影響で力を受け、エネルギーを内部に持ちます。
  - それぞれが外場の影響を受けます。
  - お互いに影響を及ぼします。



# ネットワークトラフィック問題のエネルギー算出

最適化前

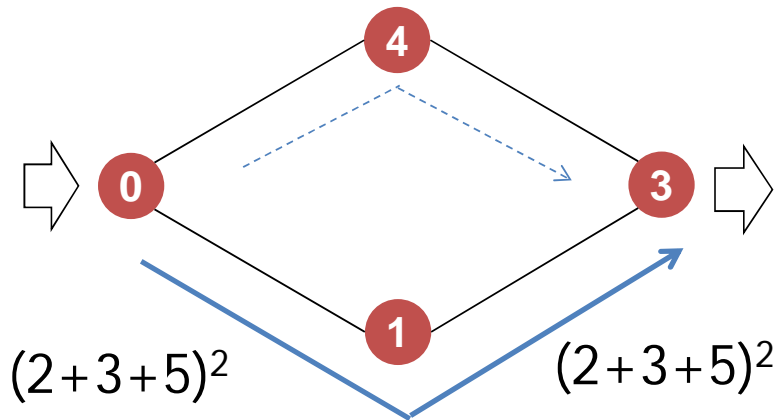
系のエネルギー: 200

トラフィック

VLAN1=2

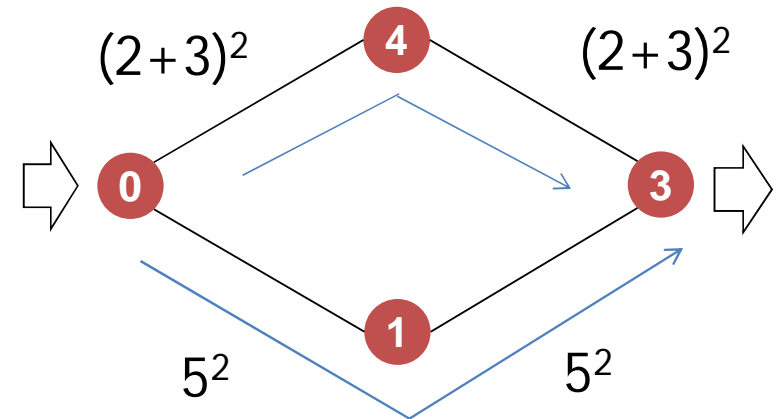
VLAN2=3

VLAN3=5



最適化後

系のエネルギー: 100



エネルギーが大きい  
= 重なりが大きい

エネルギーが最小  
= 可能な限り重なりが  
小さい組み合わせ



# 追加コストを考慮したエネルギー算出

最適化前

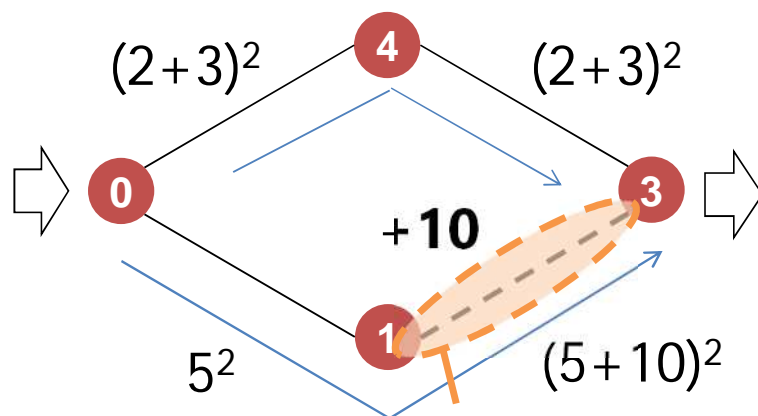
系のエネルギー: 300

トラフィック

VLAN1=2

VLAN2=3

VLAN3=5

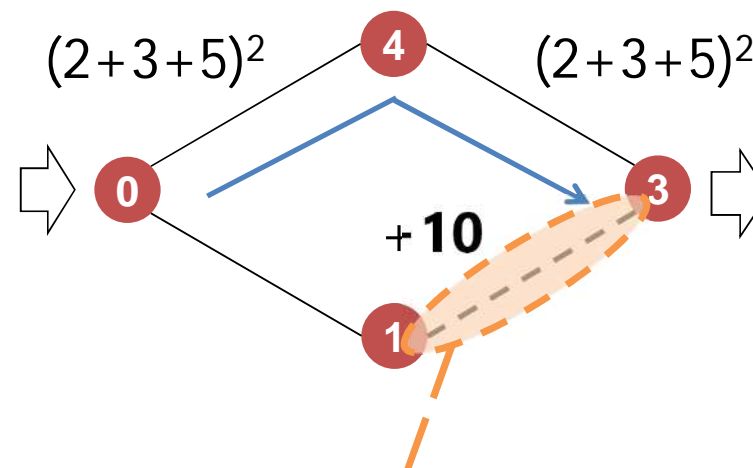


追加コストを課します

- 帯域を制限したい
- 帯域を予約したい
- 経済的コストが大きいので避けたい...etc

最適化後

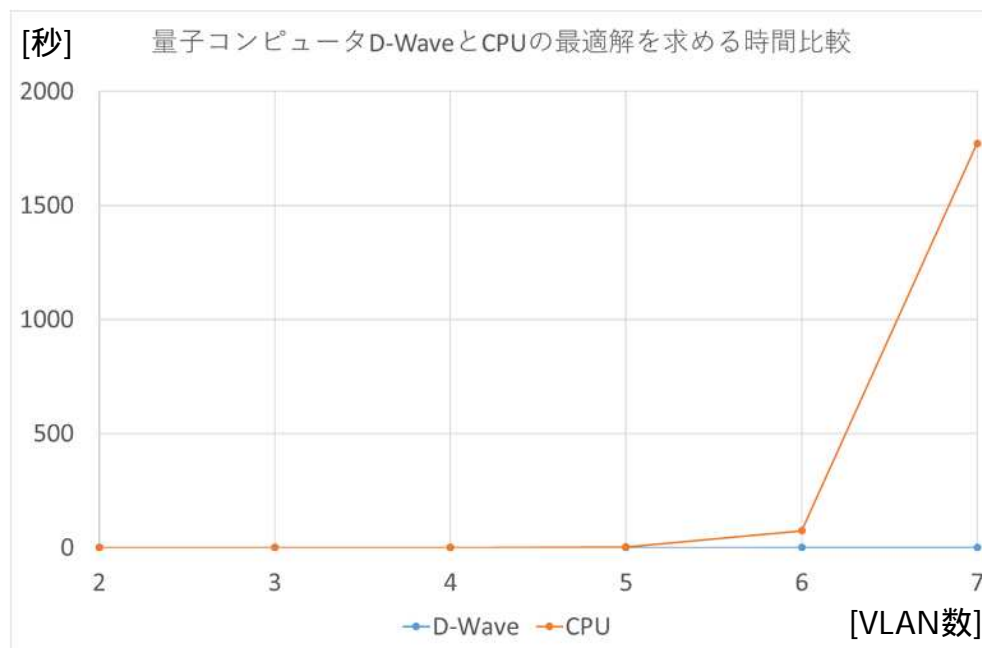
系のエネルギー: 200



利用コストが高い  
経路は避けられます

## (参考)量子コンピュータとノイマン型CPUの計算時間の比較

- 量子コンピュータD-Waveで最適化計算に要した時間と、ノイマン型CPU(2.1GHzコア)で経路総当たり計算した結果を比較しました。
- CPUで計算する場合には、「経路の組み合わせ数 = 20[経路]^VLAN数」となり、実測でもVLAN数に対して指数関数的に増加しました。
- 量子コンピュータD-Waveの場合には、VLAN数を7つに増加させても計算時間が0.2秒に収まりました。
- VLAN数5つの場合D-WaveはCPUに比べて約70倍計算が早く、VLAN数7つの場合に約9000倍速い結果となりました。



# 環境情報

- 製品情報（機器名、OS Version）

機器名	Version	物理/仮想
Cisco DNA Center	Platform version 1.1.0	仮想
Cisco CSR1000v	16.09.03	仮想
D-Wave操作サーバ	Ubuntu 16.04.6 LTS	仮想
D-Wave	D-Wave Leap、QPU SOLVER: DW_2000Q2_1	Cloudサービス

- プログラムの実行環境

実行環境	Version	搭載サーバ
Python	3.7.3	D-Wave操作作用サーバ
Jupyter Kernel Gateway	2.3.0	D-Wave操作作用サーバ
Node-RED	0.20.5	D-Wave操作作用サーバ

# まとめ

---

- 刻々と変化するネットワークトラフィックを平滑に経路を分散したいという要求に対して、D-Wave+Cisco DNAは「ネットワーク経路最適化ソリューション」を実現するものとなります。
- ネットワークトラフィック量を考慮した経路選択ができ、常に変化するネットワーク経路に対して一瞬で最適解を求めて、ダイナミックに経路を分割・平滑化する機能を備えています。更に、帯域の狭い経路に対してペナルティをかける機能を備えています。

# 謝辞

量子コンピュータの利活用において多大なご支援を頂いたネットワークシステムズ株式会社管理本部情報企画室の千葉則行シニアエキスパート、同社ビジネス開発本部第1応用技術部第1チームの荒牧大樹シニアエキスパートに感謝致します。また本テクノロジーコンテストへの参加機会を与えてくださったネットワークシステムズ株式会社ビジネス開発本部第1応用技術部藤田雄介部長、同社ビジネス開発本部第1応用技術部第1チームの川崎勝マネージャーに感謝致します。

# 参考文献

---

- Traffic flow optimization using a quantum annealer
  - <https://arxiv.org/abs/1708.01625>
- [https://docs.dwavesys.com/docs/latest/c\\_handbook\\_0.html](https://docs.dwavesys.com/docs/latest/c_handbook_0.html)

つなぐ ∟ むすぶ ∟ かわる



net one