

# Qiskit Metalで量子チップをデザインしよう！

～量子ハードウェア（量子チップ編）

IBM Quantum

Koji Masuda | 益田 幸治



# 簡単に自己紹介

IBM Quantum



益田 幸治  
ますだ こうじ

- IBM 東京基礎研究所リサーチ・サイエンティスト
- 量子コンピューター・ハードウェアの研究
  - 新しい量子チップの研究開発
  - 量子テストセンターでの研究開発
  - IBM Quantum Systemの立ち上げ・メンテナンス
- 大学院での専門は、レーザー物理。高校は文系。



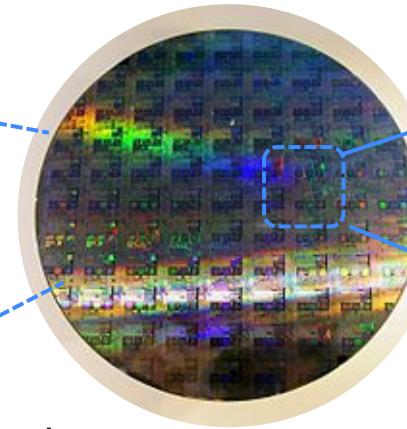
# 超伝導量子チップはどこからできている？

IBM Quantum

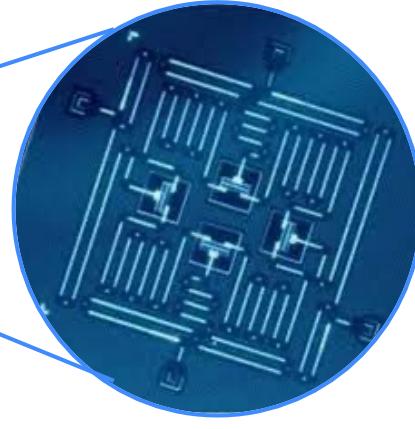
シリコン (Si)



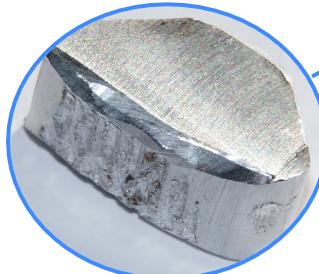
シリコンウェハー  
(半導体基板)



量子チップ



アルミニウム (Al)



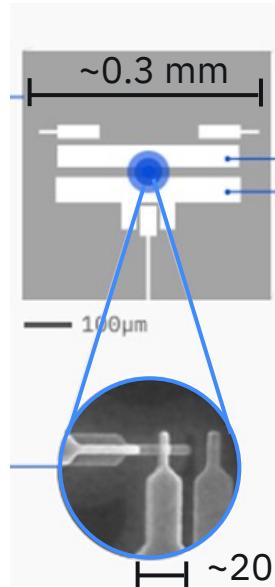
~30 cm

~30 cm

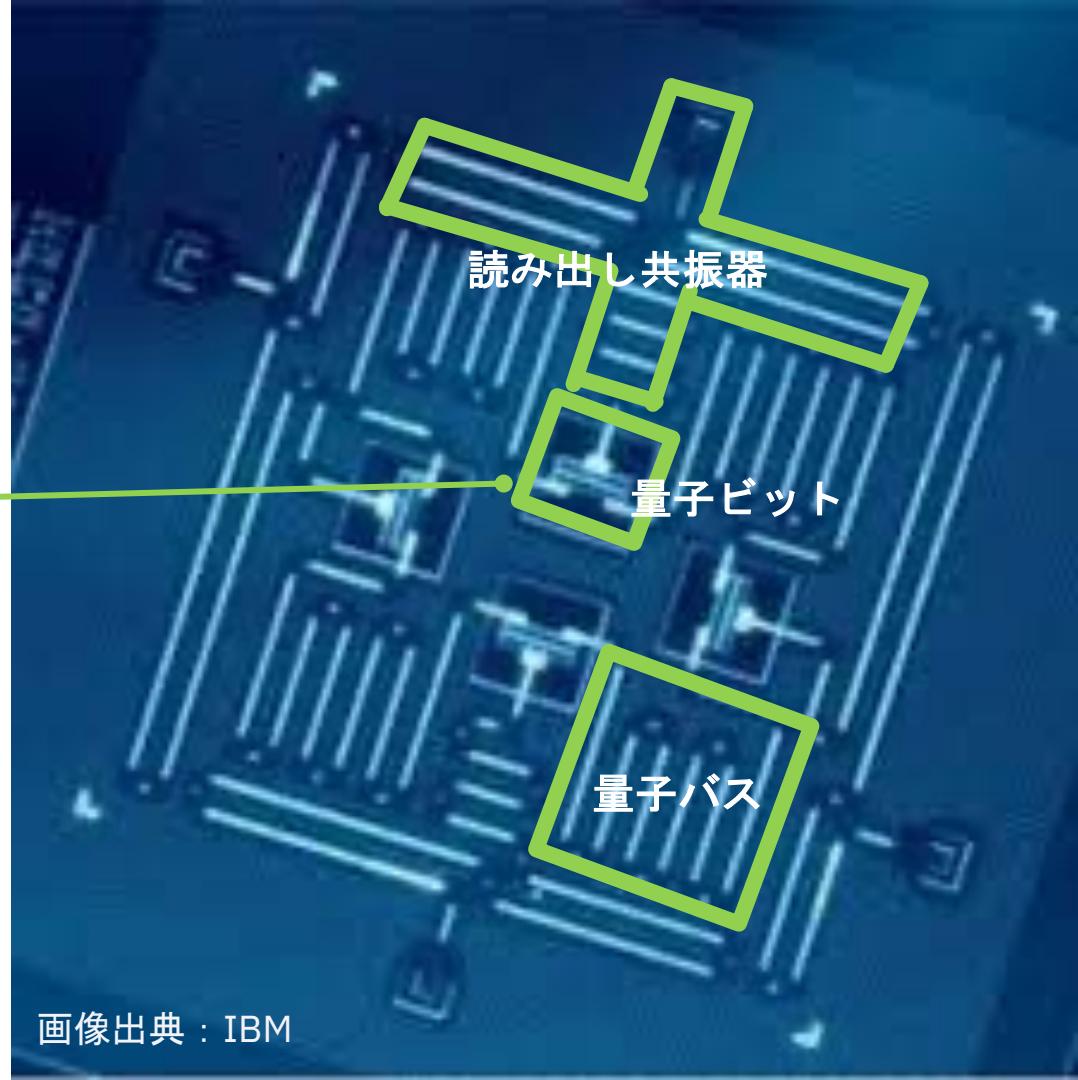
~5 mm

# コンポーネント

量子ビット  
(トランズモン)



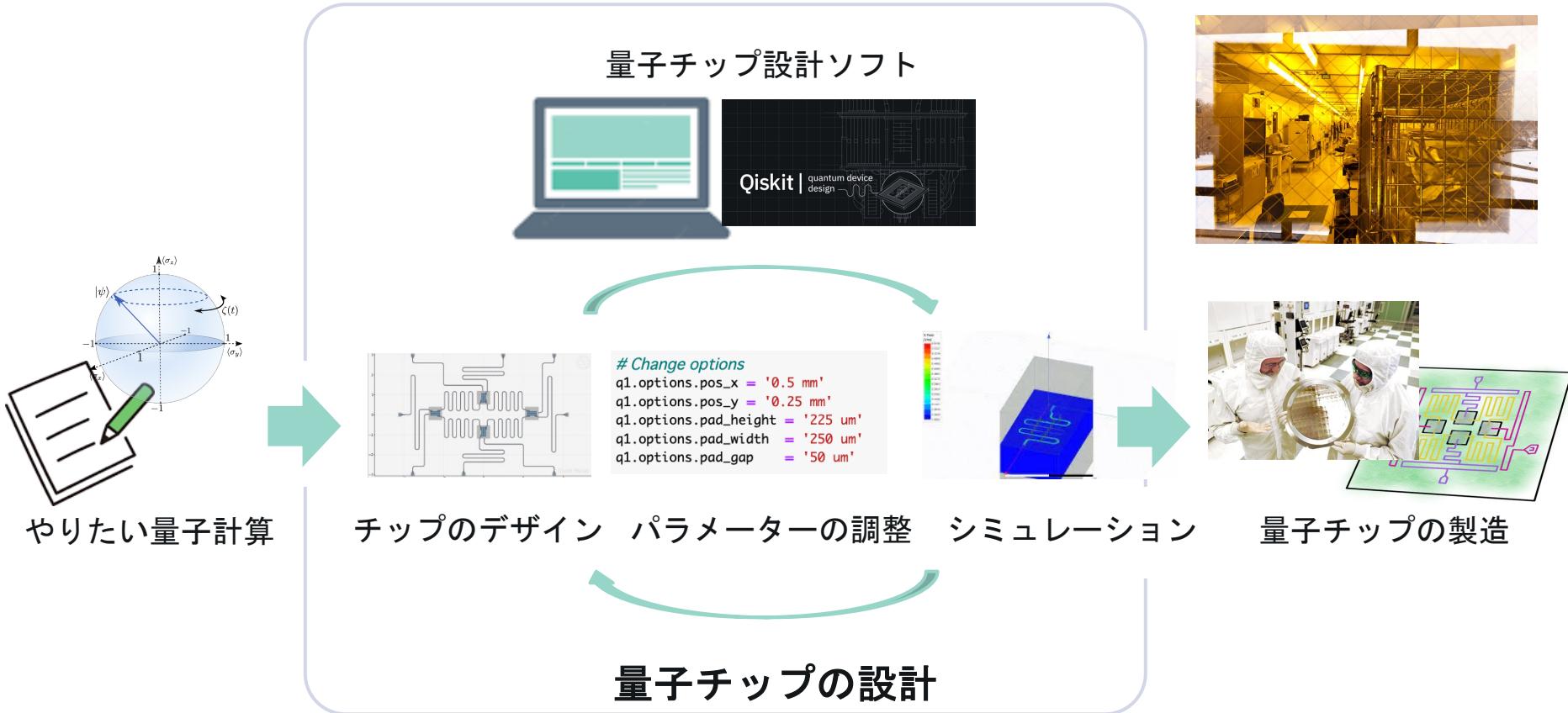
ジョセフソン・ジャンクション



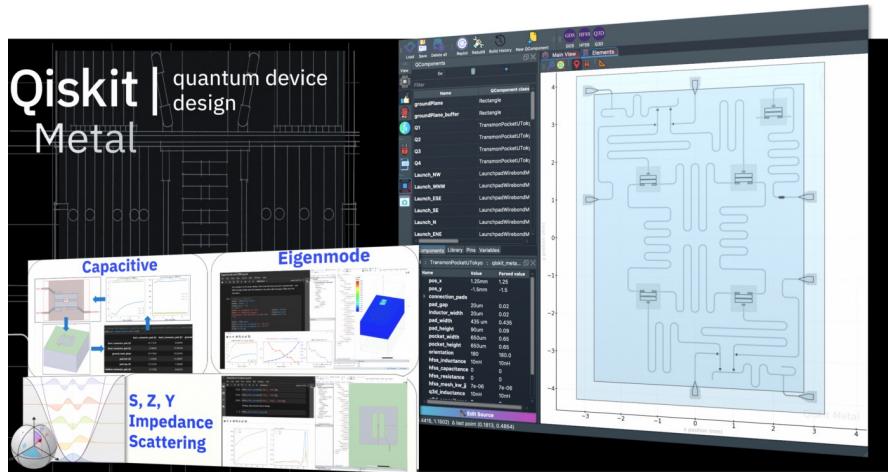
画像出典：IBM

# 量子チップができるまで

IBM Quantum



# Qiskit Metal | 量子チップの設計を容易に



量子コンピューターに特化した初の電子設計自動化（EDA）ツール。超伝導量子デバイスを容易に、そして独自の仕様で設計できるようにすることを目的としています。

ハードウェア研究促進のために東京大学様に納品された量子チップ **TSURU**もQiskit Metalをつかって設計されました。



# 量子チップを設計してみよう！

IBM Quantum

一部

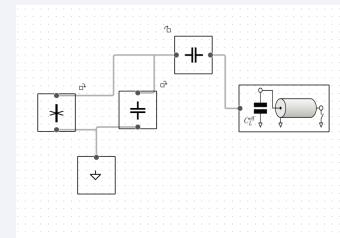
実際の量子チップの設計プロセスを紹介します。皆さんにも体験してもらいます。

## 1. 設計値の目標

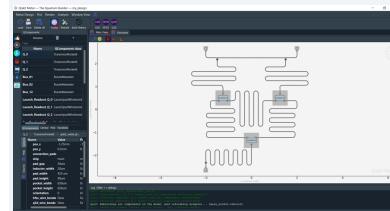
例えば . . .

- 量子ビットの数
- 量子ビットの周波数
- 非調和度
- 結合強度
- 共振器の周波数

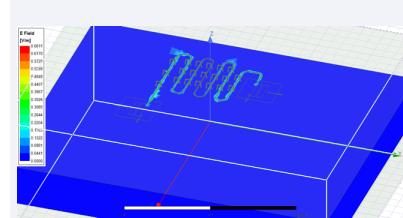
## 2. 回路パラメターの調整



## 3. レイアウトの設計



## 4. シミュレーション



一緒にやります！

# 量子チップを設計してみよう！

IBM Quantum

一部

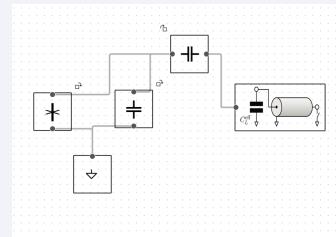
実際の量子チップの設計プロセスを紹介します。皆さんにも体験してもらいます。

## 1. 設計値の目標

例えば . . .

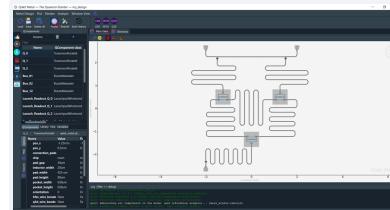
- 量子ビットの数
- 量子ビットの周波数
- 非調和度
- 結合強度
- 共振器の周波数

## 2. 回路パラメターの調整

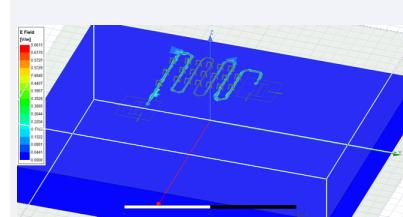


一緒にやります！

## 3. レイアウトの設計



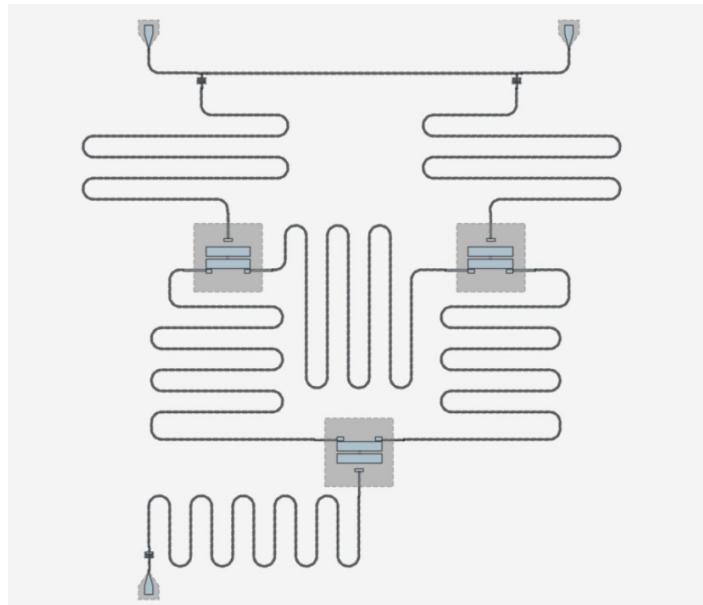
## 4. シミュレーション



# ステップ1：設計値の目標を決める

IBM Quantum

やりたい量子計算を実現するために必要な条件から、量子チップの設計値を決める。



## 量子ビット

数 : 3

周波数 : 4.8 , 5.0 , 5.2 GHz

非調和度 ( $\alpha$ ) : -300 MHz

## バス

周波数 : 5.8 , 6.0 , 7.2 GHz

## 読み出し共振器

周波数 : 6.8 , 7.0 , 7.2 GHz

分散シフト ( $\chi$ ) : -1 MHz

# 量子チップを設計してみよう！

IBM Quantum

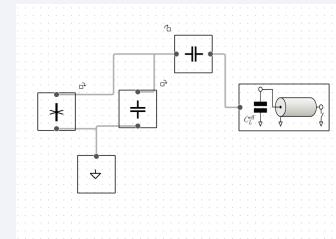
一部

実際の量子チップの開発プロセスを紹介します。皆さんにも体験してもらいます。

## 1. 実測値の目標設定

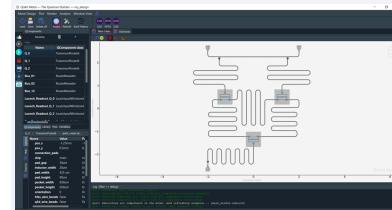
- 量子ビットの数
- 量子ビットの周波数
- 非調和度
- 結合強度
- 共振器の周波数

## 2. 回路パラメターの調整

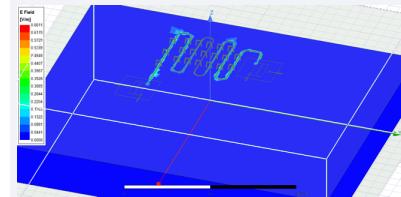


一緒にやります！

## 3. レイアウトの設計



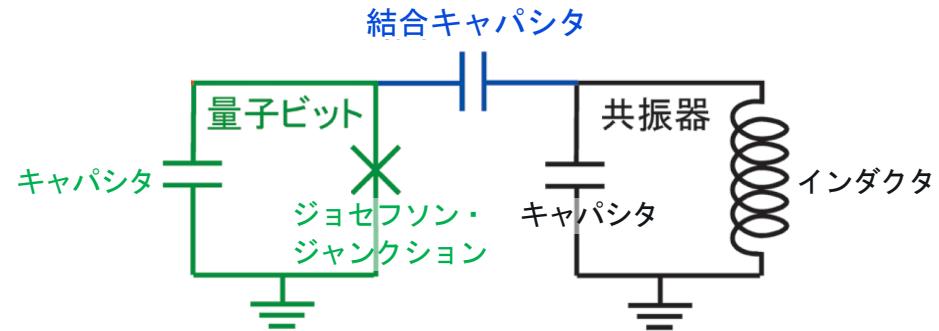
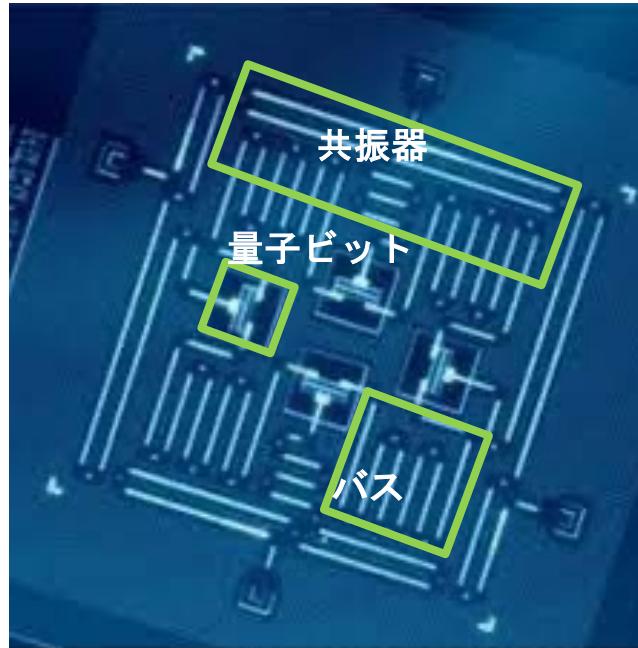
## 4. シミュレーション



## ステップ2：回路パラメターを調整する

IBM Quantum

超伝導量子ビットは電気回路から出来ている。 → 回路図で表わせる！

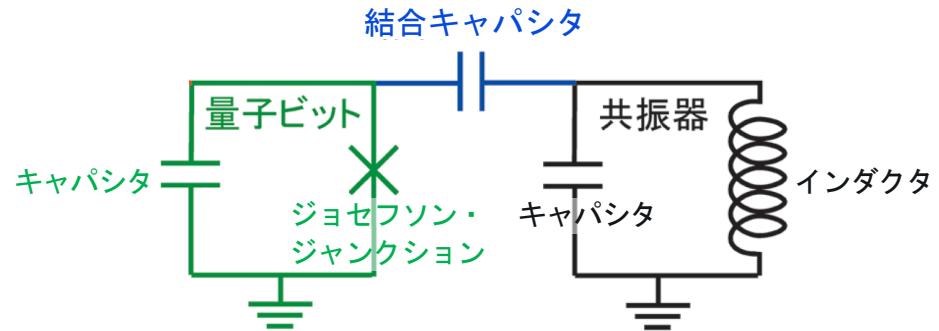


量子チップの特性（周波数、結合強度、非調和度）は、キャパシタ、ジョセフソン・ジャンクション、インダクタの値やつながり方で調整できる。

# ステップ2：回路パラメターを調整する

IBM Quantum

超伝導量子ビットは電気回路から出来ている。 → 回路図で表わせる！



量子チップの特性（周波数、結合強度、非調和度）は、キャパシタ、ジョセフソン・ジャンクション、インダクタの値やつながり方で調整できる。

実際にやってみよう！

# ステップ2：回路パラメターを調整する

IBM Quantum

実際に、量子チップの特性を調整してみよう！

Google Chrome推奨

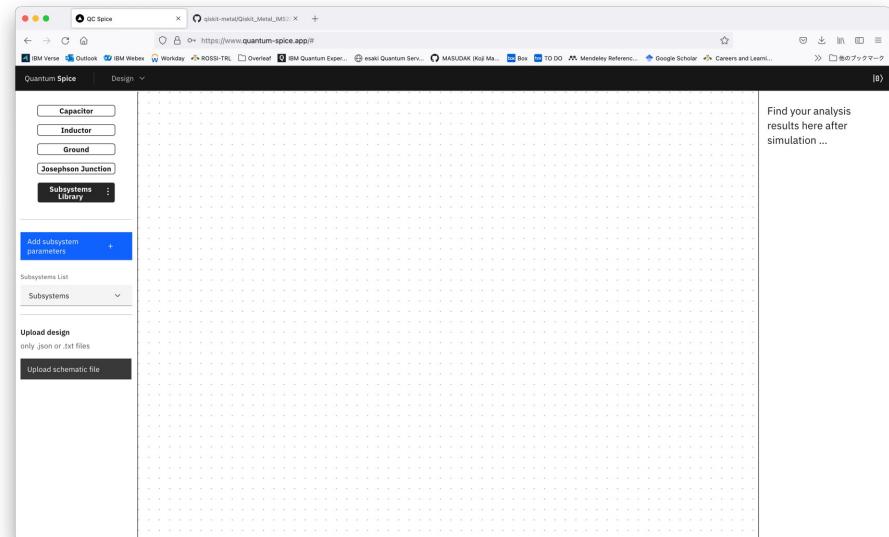
- ① Quantum Spiceにアクセス <https://www.quantum-spice.app/#>

パスワード : spicyqubits

Welcome to Quantum Spice Beta!

Password

Submit



# ステップ2：回路パラメターを調整する

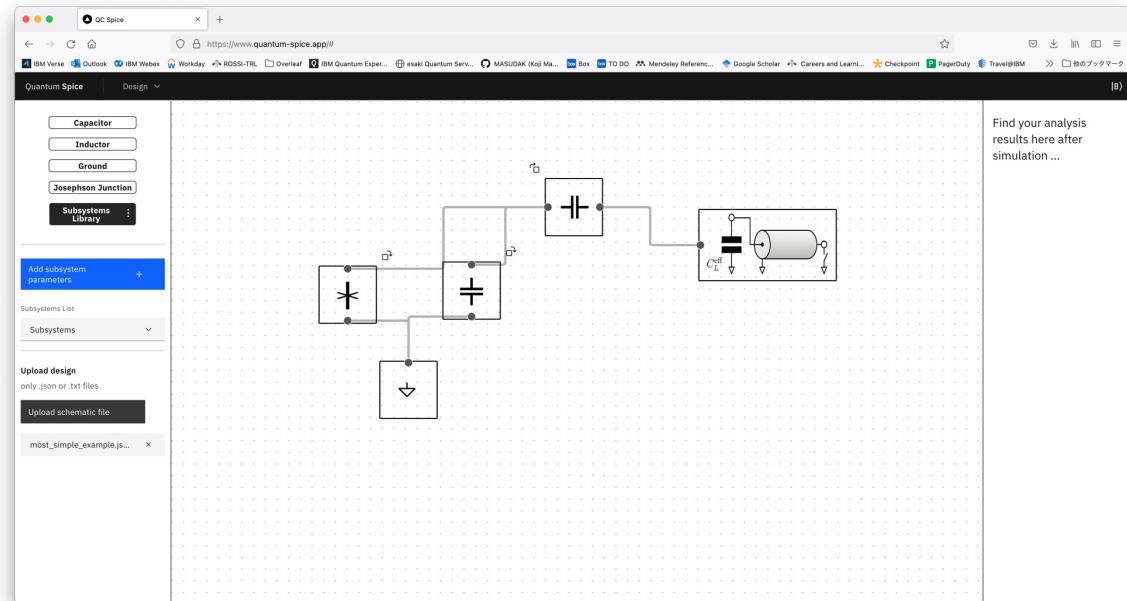
IBM Quantum

実際に、量子チップの特性を調整してみよう！

## ② 回路図を描いてみよう

この例題では、1つの量子ビットと1つの共振器を扱う

右の図のように、回路部品を並べて、それぞれ接続してみよう



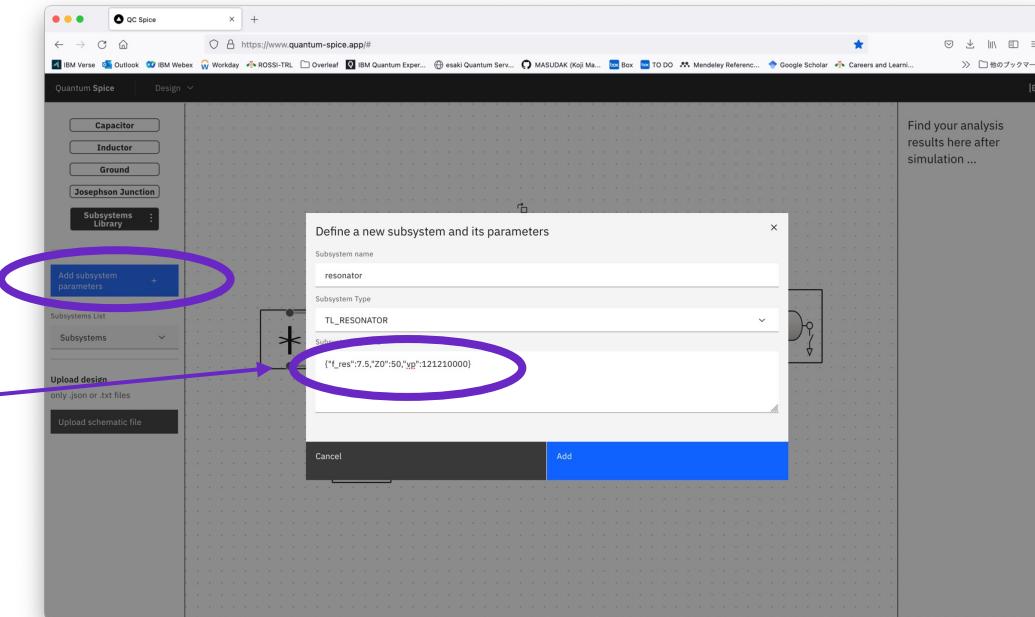
# ステップ2：回路パラメターを調整する

IBM Quantum

実際に、量子チップの特性を調整してみよう！

## ③ サブシステムを定義しよう

- 量子ビット
- 共振器



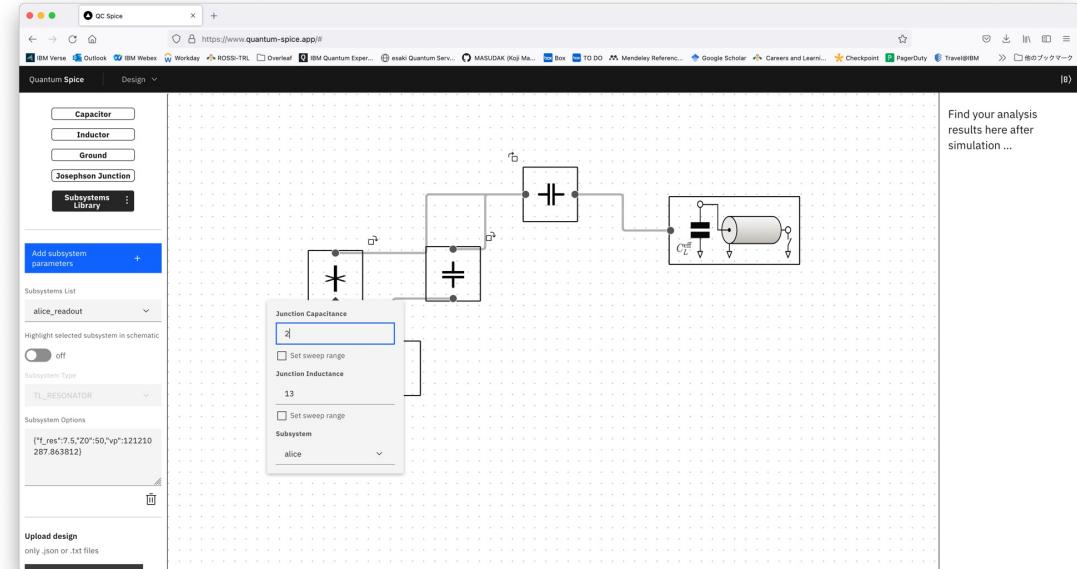
# ステップ2：回路パラメターを調整する

IBM Quantum

実際に、量子チップの特性を調整してみよう！

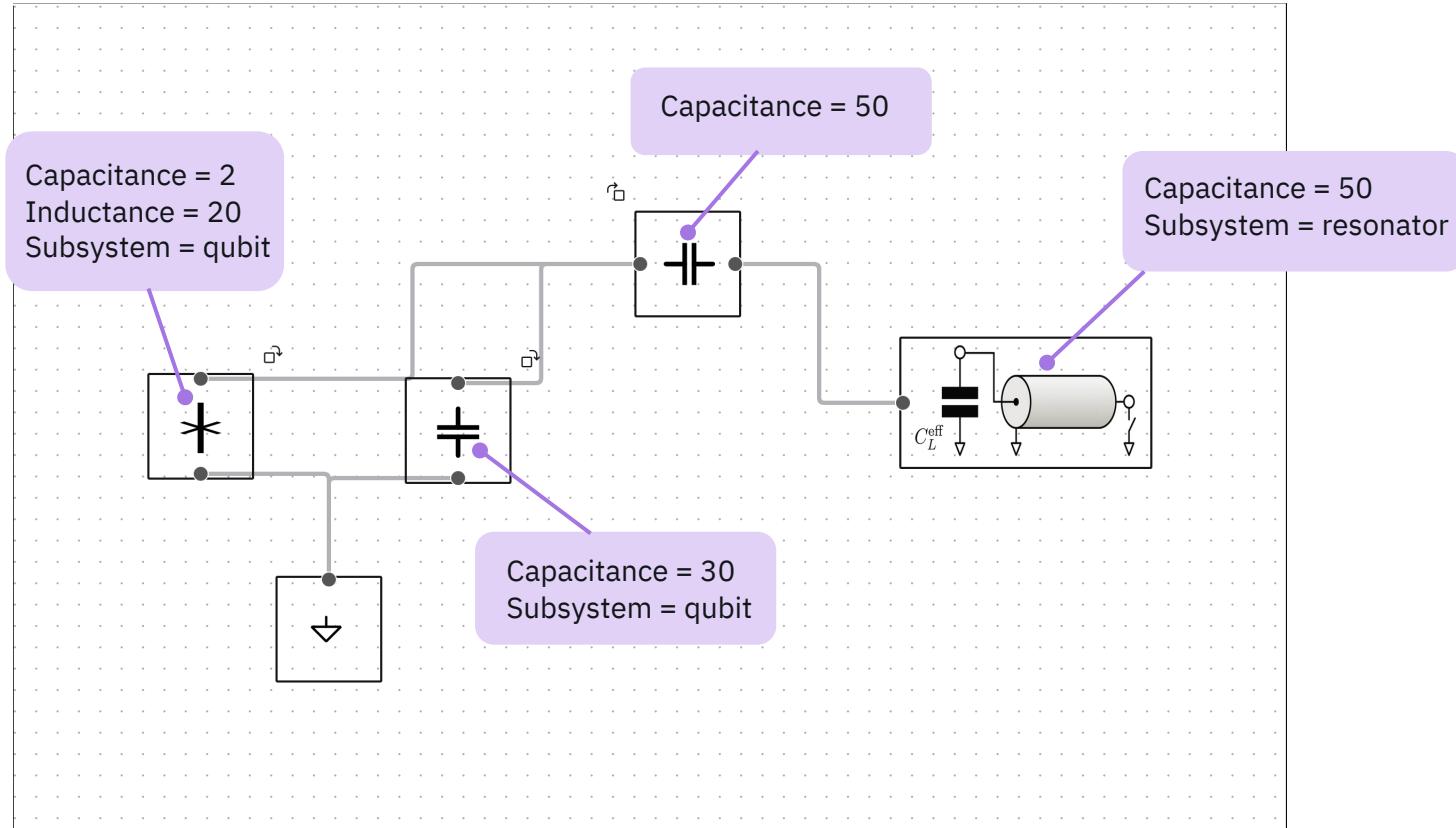
## ④ 回路パラメターを入力しよう

部品のアイコンをクリックす  
ると、入力画面が開く



# 回路パラメタ

IBM Quantum



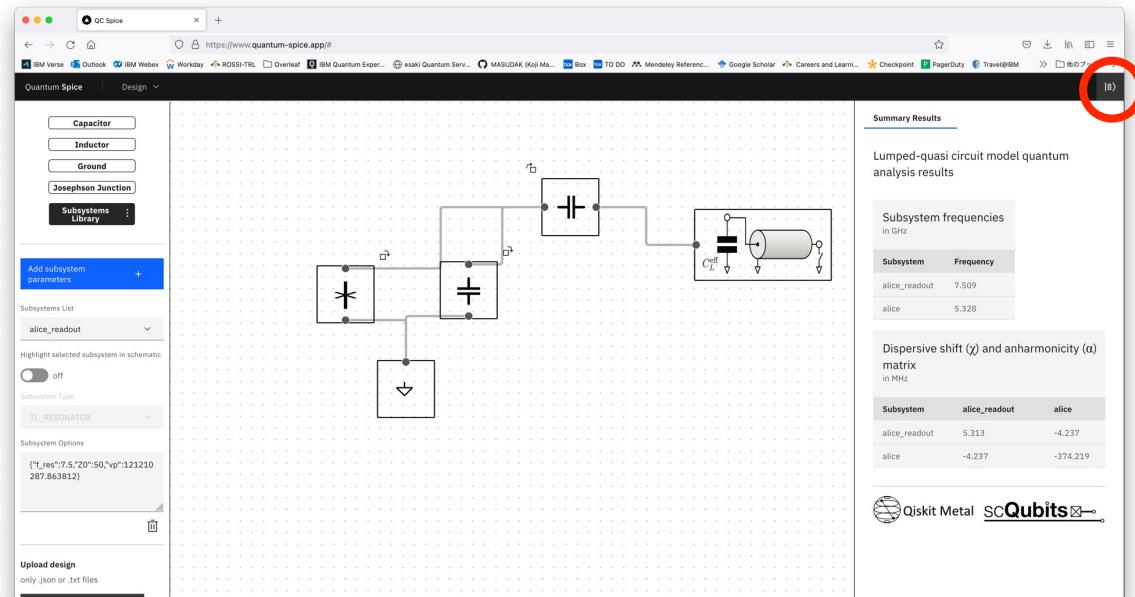
# ステップ2：回路パラメターを調整する

実際に、量子チップの特性を調整してみよう！

## ④ 特性を確認してみよう！

画面右上の $|0\rangle$ をクリックすると、計算結果が表示される

目標値と比べてみよう！

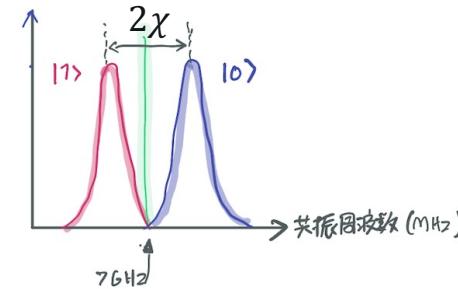
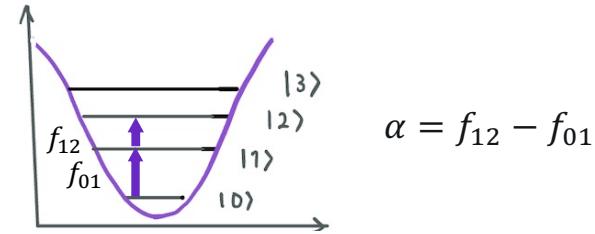
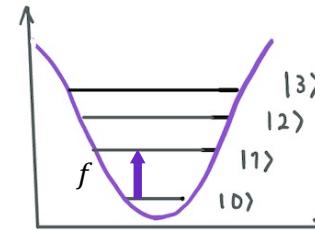


# 目標値

量子ビット周波数 ( $f$ ) : **5.3 GHz**

非調和度 ( $\alpha$ ) : **-370 MHz**

分散シフト ( $\chi$ ) : **-4 MHz**



# ステップ2：回路パラメターを調整する

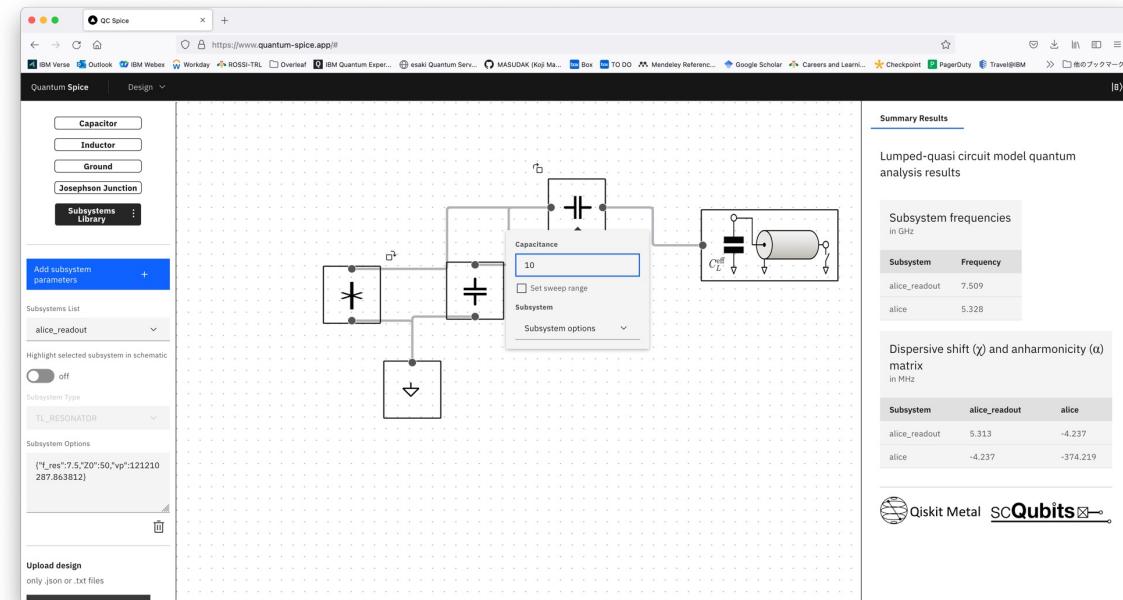
実際に、量子チップの特性を調整してみよう！

## ⑤ パラメーターを変えてみよう

キャパシタ、インダクタ、共振器の周波数を変えてみよう。

量子チップの特性はどのように変化するだろう？

目標値に近づくにはどのようにパラメーターを調整したら良いだろう？



# 回路パラメーターと量子チップの特性の関係

IBM Quantum

キャパシタ



量子ビットのエネルギー



インダクタ



量子ビットのエネルギー



キャパシタ



非調和度 ( $\alpha$ )



キャパシタ



分散シフト ( $\chi$ )



# 量子チップをデザインしてみよう！

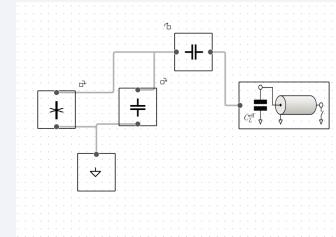
IBM Quantum

実際の量子チップの開発プロセスを紹介します。

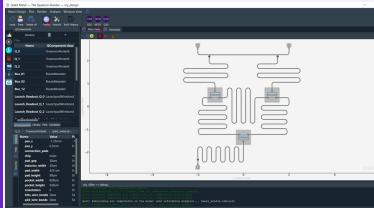
## 1. 実測値の目標設定

- 量子ビットの数
- 量子ビットの周波数
- 非調和度
- 結合強度
- 共振器の周波数

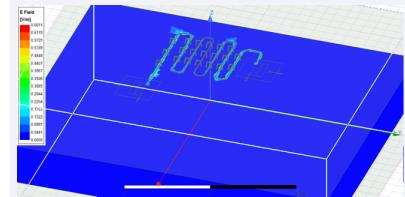
## 2. 回路パラメターの調整



## 3. レイアウトの設計



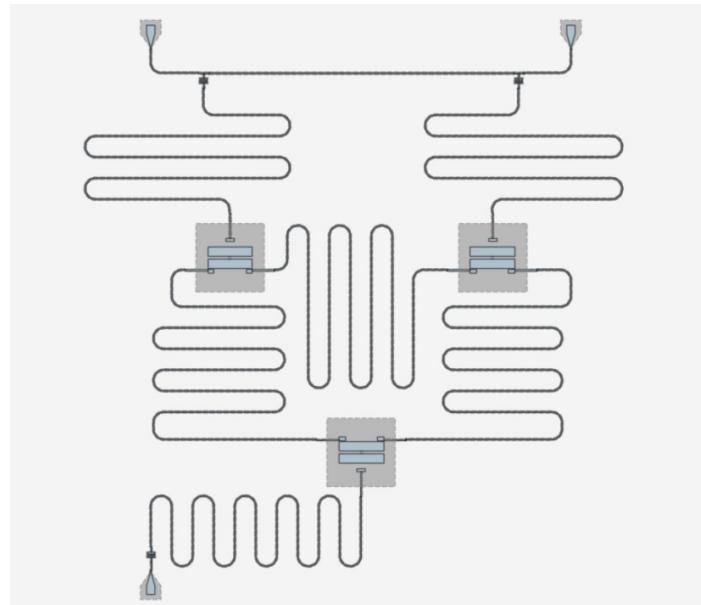
## 4. シミュレーション



# ステップ3-4：レイアウトの設計と解析

IBM Quantum

Qiskit Metalを使って、量子チップのレイアウトを設計します。



## 量子ビット

数 : 3

周波数 : 4.8 , 5.0 , 5.2 GHz

非調和度 ( $\alpha$ ) : 300 MHz

## バス

周波数 : 5.8 , 6.0 , 7.2 GHz

## 読み出し共振器

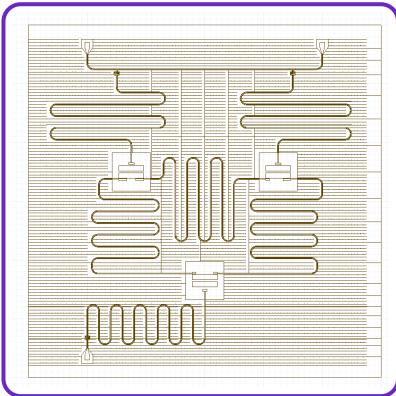
周波数 : 6.8 , 7.0 , 7.2 GHz

分散シフト ( $\chi$ ) : 1 MHz

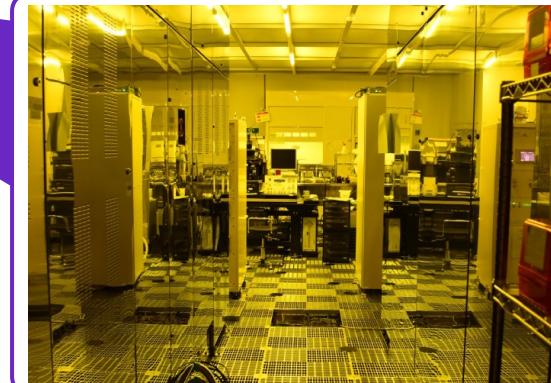
# 設計から製造まで

IBM Quantum

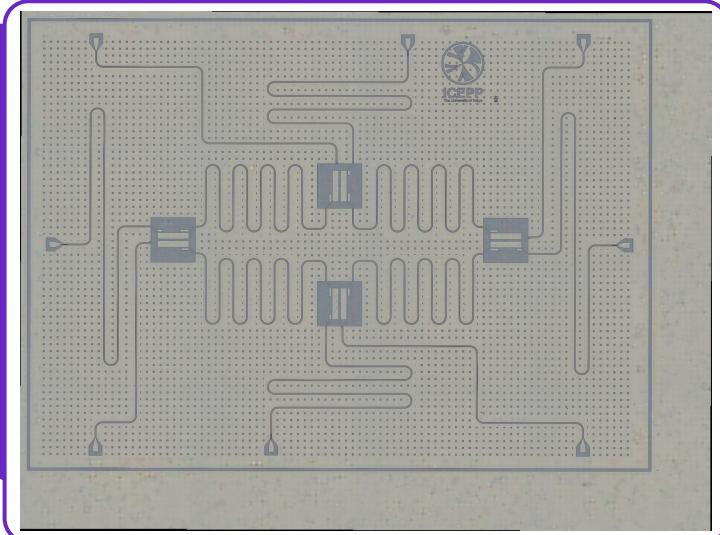
出力ファイル



クリーンルームで加工・製造



実際の量子チップ



## Qiskit Metal

<https://qiskit.org/metal/>

## Qiskit Metal Full design flow example

[https://github.com/Qiskit/qiskit-metal/blob/main/tutorials/Appendix%20A%20Full%20design%20flow%20examples/Qiskit\\_Metal\\_IMS202\\_2\\_Notebook.ipynb](https://github.com/Qiskit/qiskit-metal/blob/main/tutorials/Appendix%20A%20Full%20design%20flow%20examples/Qiskit_Metal_IMS202_2_Notebook.ipynb)

## Qiskit Metal Tutorials

[https://www.youtube.com/playlist?list=PLOFEBzvs-VvqHl5ZqVmhb\\_FcSqmLufsjb](https://www.youtube.com/playlist?list=PLOFEBzvs-VvqHl5ZqVmhb_FcSqmLufsjb)

# Thank you