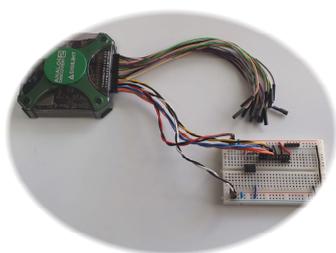




## 30分1本勝負 間違いだらけの電子回路測定



立ち上がり時間の正しい測り方

Mar-5, 2021

*Watanabe Measurement Consulting*

Watanabe Measurement Consulting 2021 All Rights Reserved

0

## AnalogDiscovery2/WaveFormsについて

*Watanabe Measurement Consulting*

Watanabe Measurement Consulting 2021 All Rights Reserved

1

## AnalogDiscovery2の入出力

AnalogDiscovery2 本体

付属のリードセット

拡張BNCコネクタボード

Scope (オシロスコープ)

電源 (+)

電源 (-)

デジタルI/O (16CH)

WaveGen2 (ファンクション・ジェネレータ CH2)

Watanabe Measurement Consulting 2021 All Rights Reserved

2

## AnalogDiscovery2の内部構造

周波数帯域

- ✓ リードセット使用時 9MHz
- ✓ 拡張BNCコネクタボード使用時 30MHz

AnalogDiscovery2 本体

Scope

Wavegen

Logic & Patterns 16ビット I/O

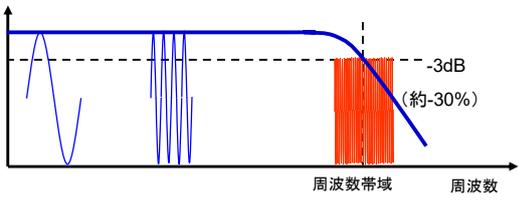
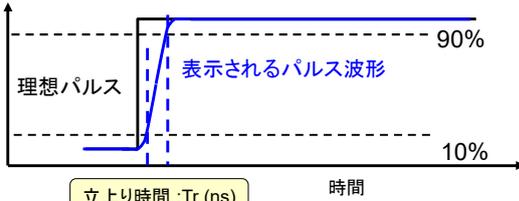
Watanabe Measurement Consulting 2021 All Rights Reserved

3

Watanabe Measurement Consulting

## 周波数帯域と立上り時間の関係

- 周波数帯域の定義
  - -3dB(約70%)に振幅が低下する周波数
- 立上り時間
  - 10%~90%までの遷移時間
- 周波数帯域と立上り時間の関係
  - $Tr$ : 立上り時間(ns)、 $f$ : 周波数帯域(MHz)

立上り時間 :  $Tr$  (ns)

周波数帯域	立上り時間
100MHz	3.5ns
350MHz	1ns
1GHz	350ps

$$Tr = \frac{350}{f}$$

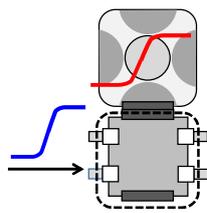
Watanabe Measurement Consulting 2021 All Rights Reserved

4

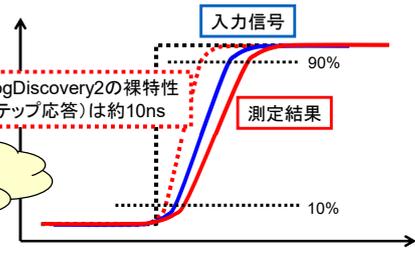
Watanabe Measurement Consulting

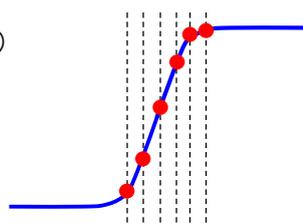
## AnalogDiscovery2の実力

- 周波数帯域30MHzより立上り時間は約10ns
- 誤差が少ない目安は入力信号の立上り時間 > 測定器の立上り時間 × 4
  - 入力信号の立上り時間が > 40nsであれば誤差は少ない
- 最高サンプリング・レートは100MS/s(10ns分解能)
  - エッジに数ポイントのデータが得られる



信号波形がどれ位鈍ってしまうのか?





Watanabe Measurement Consulting 2021 All Rights Reserved

5

### Watanabe Measurement Consulting

## AnalogDiscovery2で取り込んだ方形波

オシロスコープで時間軸表示

周波数情報は波形の形状にある

1ms (1kHz)

周波数1kHzの方形波を出力

Watanabe Measurement Consulting 2021 All Rights Reserved

6

### Watanabe Measurement Consulting

## AnalogDiscovery2 スペクトラム・アナライザで測定

スペクトラム・アナライザで周波数軸表示

1kHzの成分(基本波)  
3kHzの成分(第3高調波)  
5kHzの成分(第5高調波)

1/10  
1/100

周波数1kHzの方形波を出力

Watanabe Measurement Consulting 2021 All Rights Reserved

7

## 測定器が回路の動作に影響する

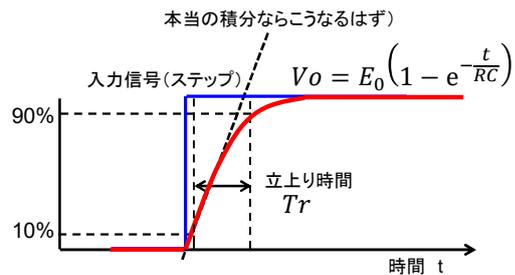
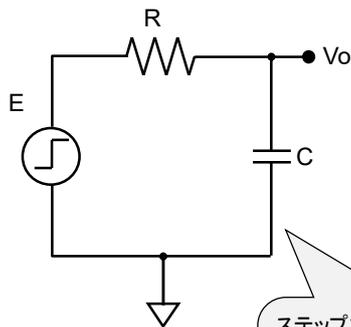
Watanabe Measurement Consulting

Watanabe Measurement Consulting 2021 All Rights Reserved

8

### RC回路 ステップ応答

Watanabe Measurement Consulting



ステップ立ち上がり部分の周波数成分は高周波のためキャパシタのインピーダンスが低く出力電圧は直ぐには立ち上がらない。  
その後、充電され、上昇する。

$$E_0 = E_{in}(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

$$E_1 = 0.1 \times E_{in} = E_{in}(1 - e^{-\frac{t_1}{RC}})$$

$$E_2 = 0.9 \times E_{in} = E_{in}(1 - e^{-\frac{t_2}{RC}})$$

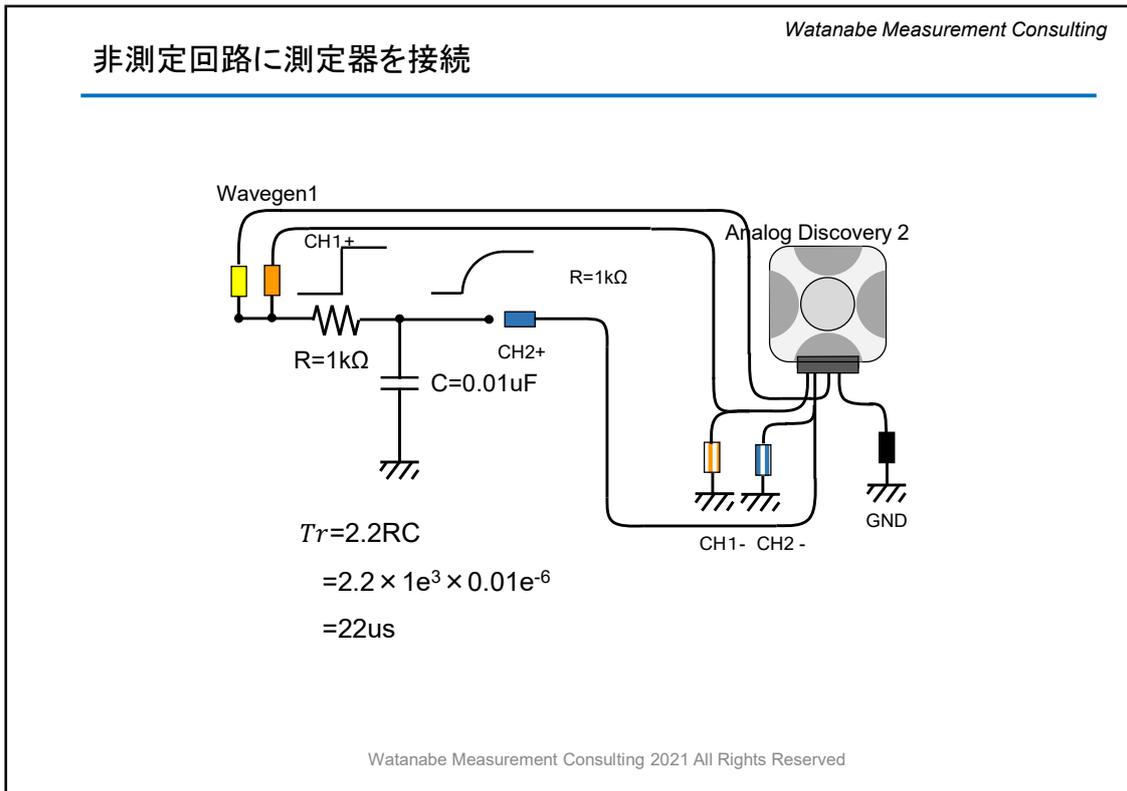
$$Tr = t_2 - t_1$$

$$= RC(\log 0.9 - \log 0.1)$$

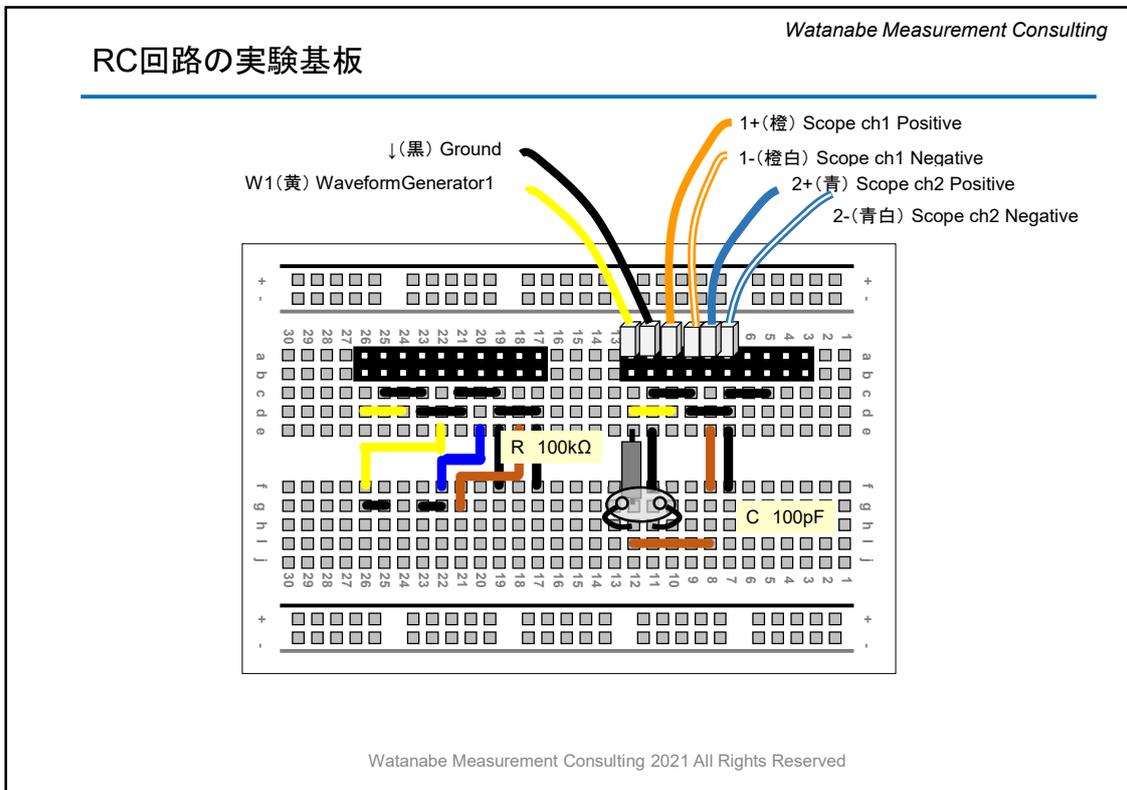
$$= 2.2RC$$

Watanabe Measurement Consulting 2021 All Rights Reserved

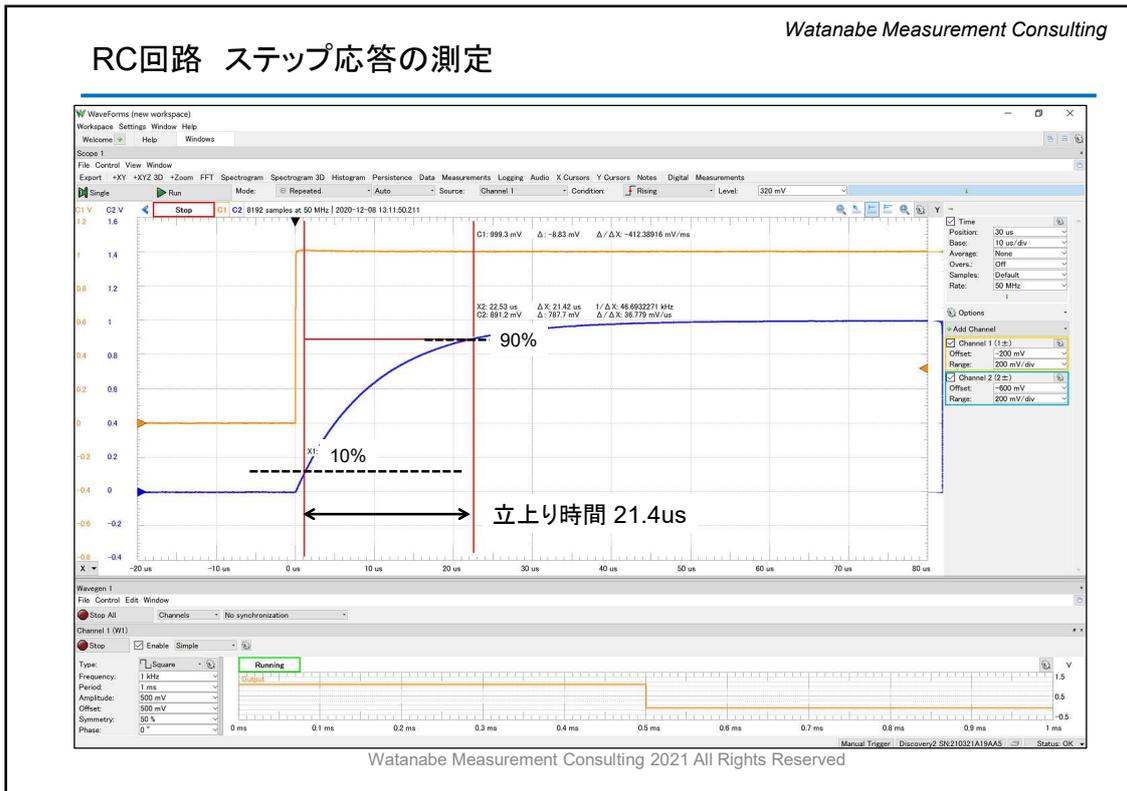
9



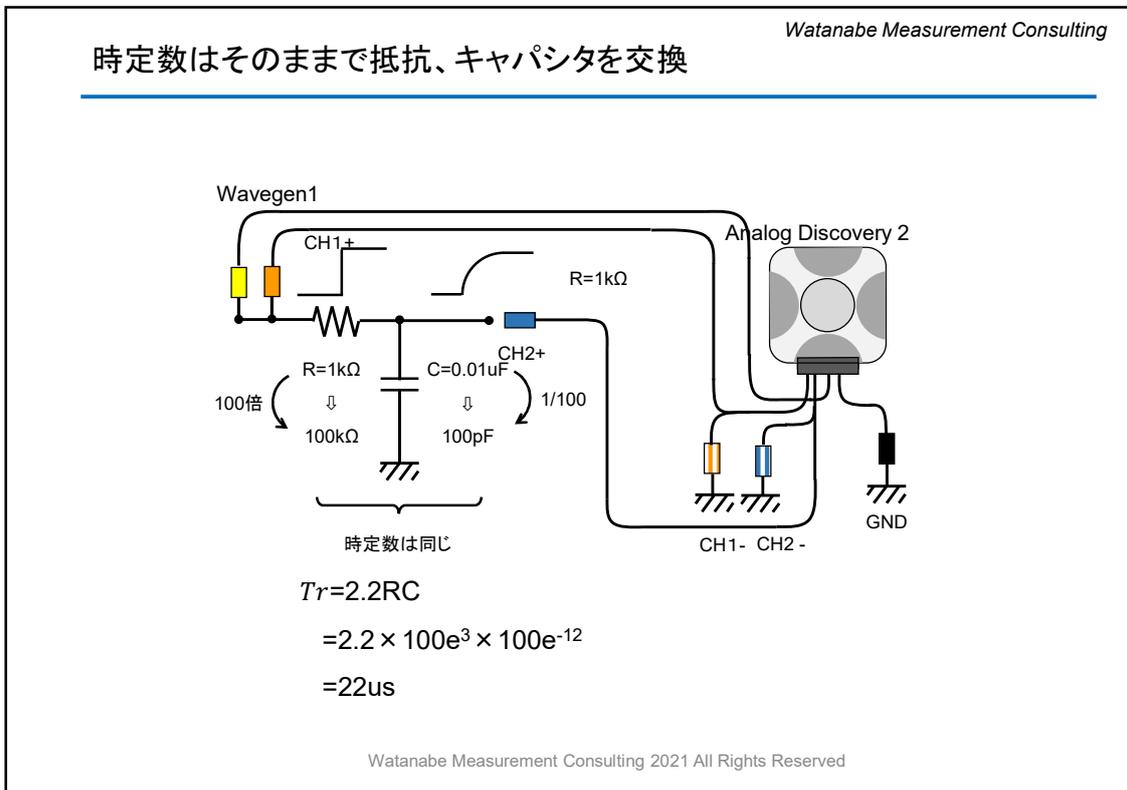
10



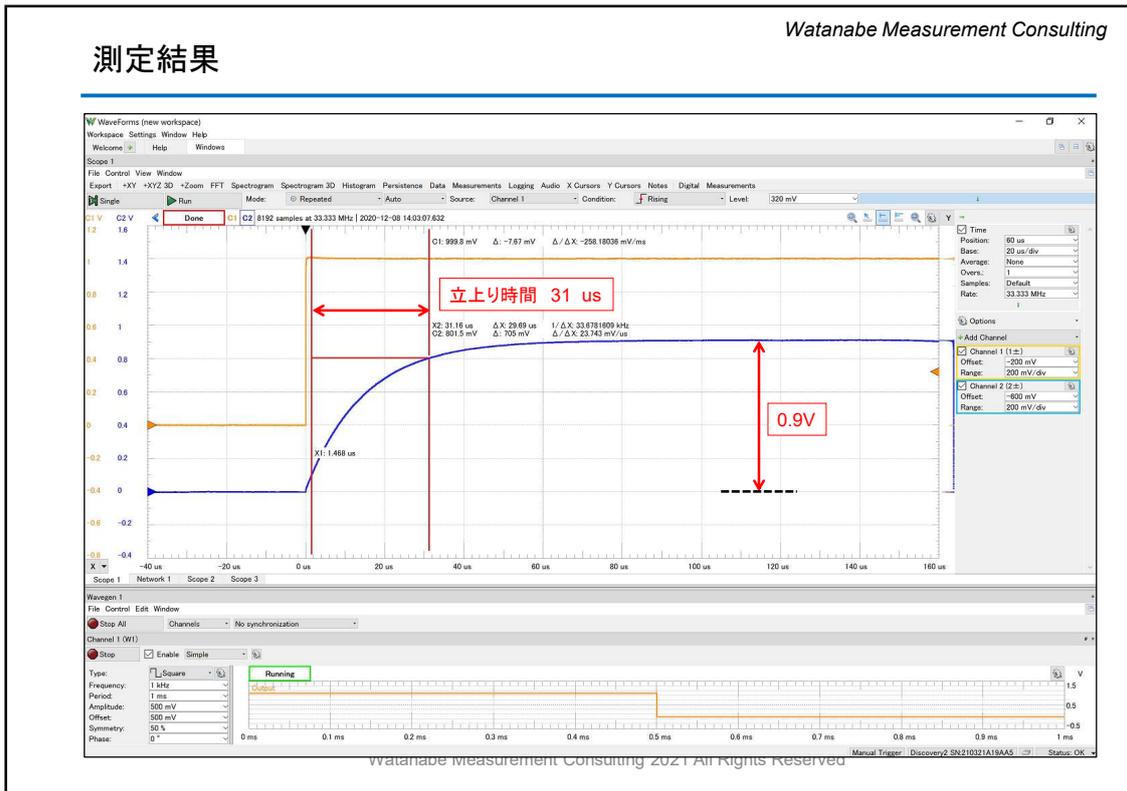
11



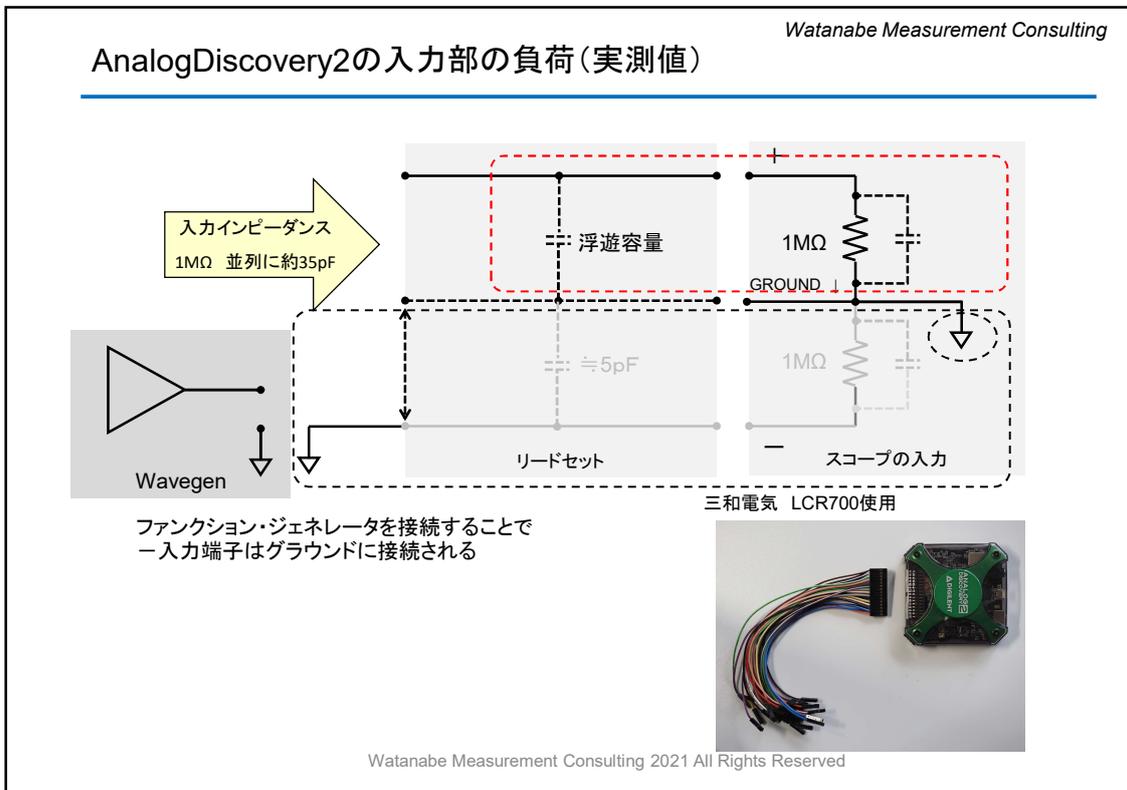
12



13



14



15

Watanabe Measurement Consulting

### AnalogDiscovery2の入力部の実測値例 (参考資料)

---

浮遊容量

実測値 約30pF

浮遊容量

リードセット

+

1MΩ

入力容量

GROUND ↓

1MΩ

入力容量

- スコープの入力

三和電気 LCR700使用

AnalogDiscovery2のマニュアルには入力容量24pFと記載されている  
 +/-入力間の容量実測値が12pF、入力容量が直列になるため、それぞれの入力容量は24pFになると思われる  
 (+/-入力とG間の実測値は約30pF)

Watanabe Measurement Consulting 2021 All Rights Reserved

16

Watanabe Measurement Consulting

### AnalogDiscovery2を接続したときの等価回路

---

Wavegen1 CH1

R=100kΩ

C=100pF

1MΩ 35pF

1MΩ 35pF

Vout

CH2

ここが見えている

振幅が低下する

立上りが鈍る

AnalogDiscovery2の入カインピーダンス

**結論**

- ✓インピーダンスが高い回路(COMSやFET、高電圧回路には要注意)では測定器の入力抵抗値に注意
- ✓回路の容量が小さい場合は測定器の入力良値に注意

ジェネレータの負荷としては無視できる

Watanabe Measurement Consulting 2021 All Rights Reserved

17

Watanabe Measurement Consulting

### 拡張BNCコネクタボードを組み合わせる

入インピーダンス  
1MΩ 並列に約40pF

DCカップル  
ACカップル  
≒ 10pF  
≒ 30pF  
1MΩ  
GROUND ↓  
1MΩ  
≒ 30pF  
拡張BNCコネクタボード  
スコープの入力

同軸ケーブルの芯線-シールド間の容量  
約100pF/m

Watanabe Measurement Consulting

18

Watanabe Measurement Consulting

### 10X プローブの原理

補償調整をしないで使ってはいけません

補正調整  
オシロスコープの  
入力容量の差異  
を調整

芯線-シールド間の容量

周波数応答がフラットになる条件  
 $C_1 R_1 = C_a R_2$

代表値を代入すると  $C_1 \approx 18\text{pF}$   
 $C_1$ は直列⇒低入力容量化  
 $R_1$ は直列⇒高入力抵抗化

理想に一歩近づいた

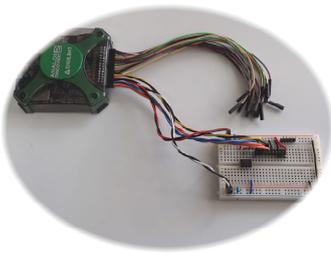
10:1時	約24pF	10MΩ
1:1時	約160pF	1MΩ

Watanabe Measurement Consulting 2021 All Rights Reserved

19



# 30分1本勝負 間違いだらけの電子回路測定



## グラウンドの正しい取り方

Mar-6, 2021

*Watanabe Measurement Consulting*

Watanabe Measurement Consulting 2021 All Rights Reserved

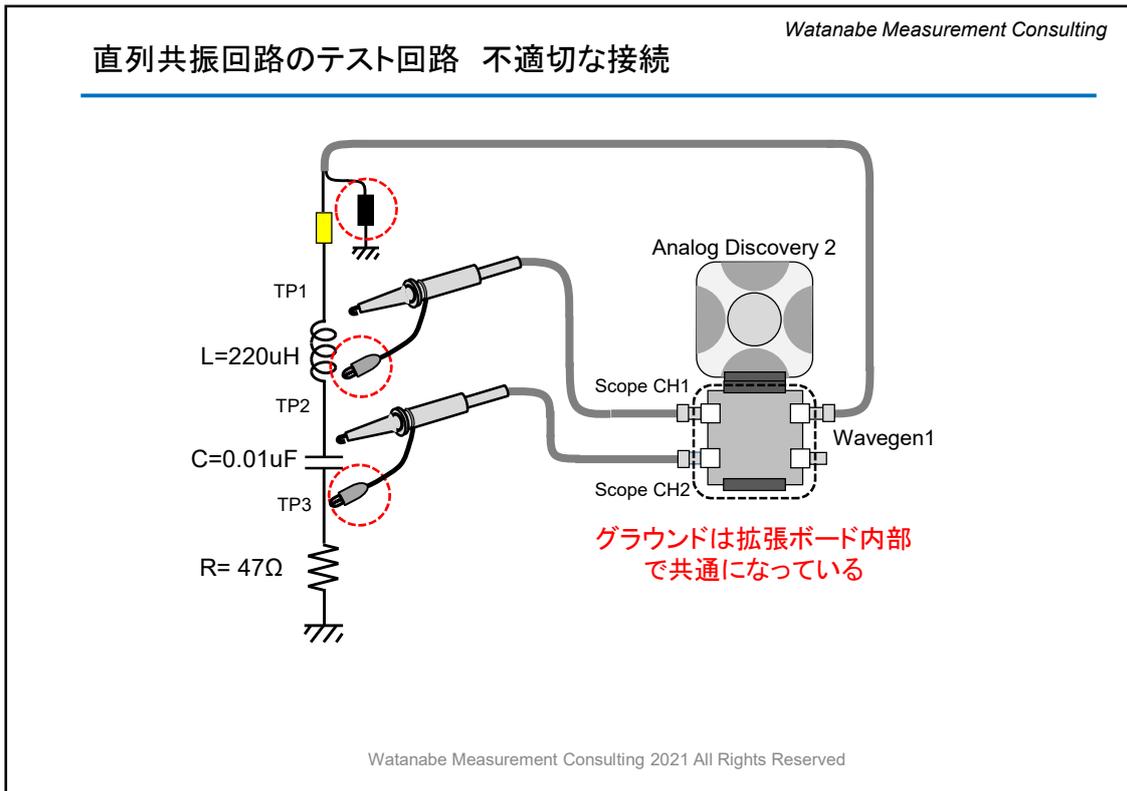
20

# 測定系のグラウンド

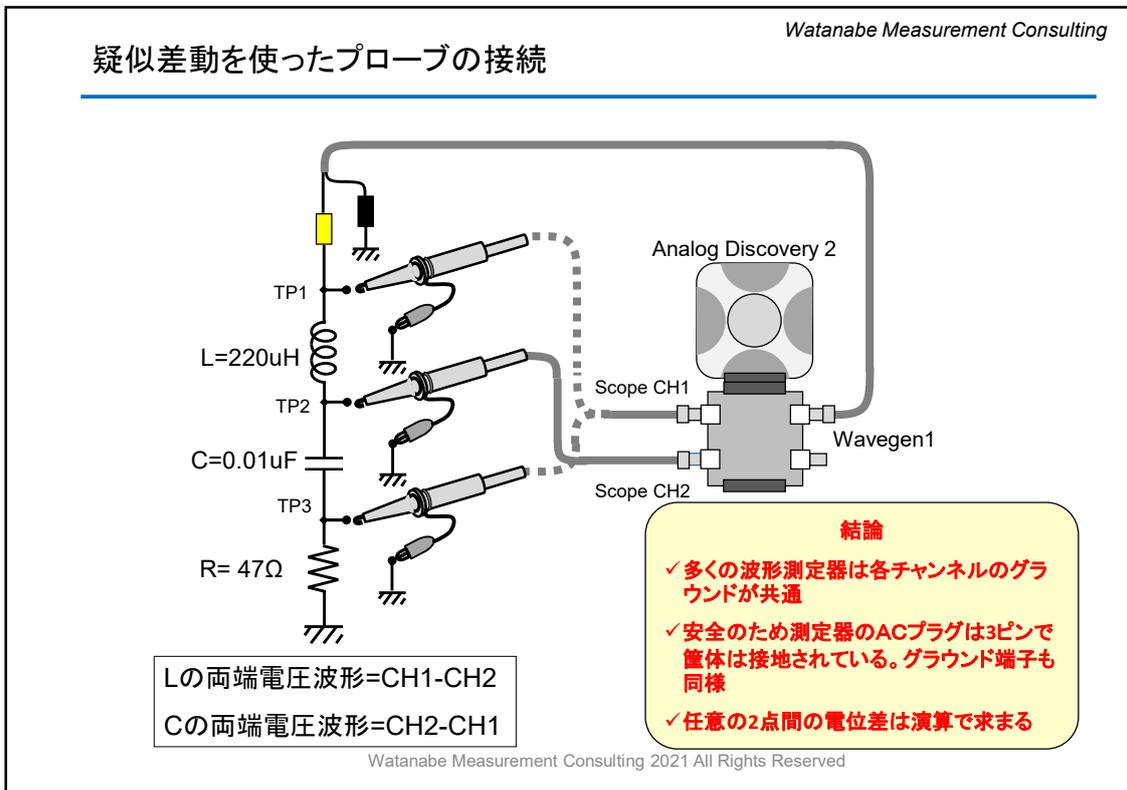
*Watanabe Measurement Consulting*

Watanabe Measurement Consulting 2021 All Rights Reserved

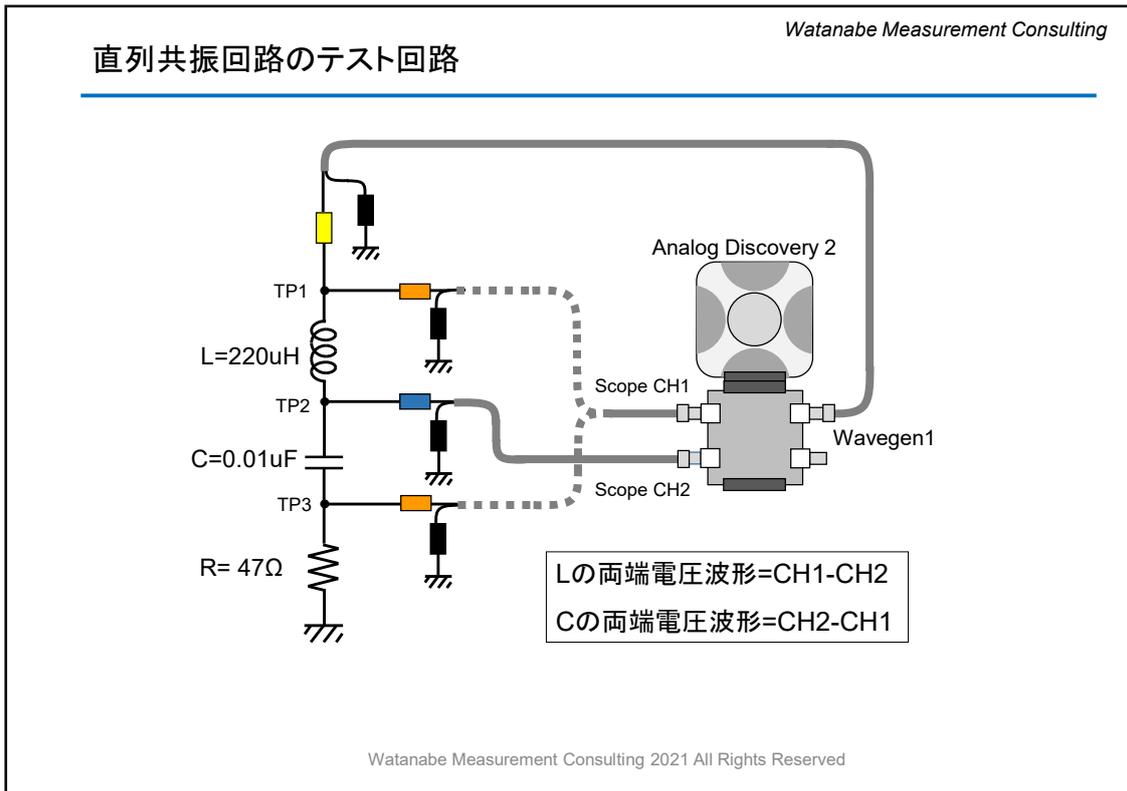
21



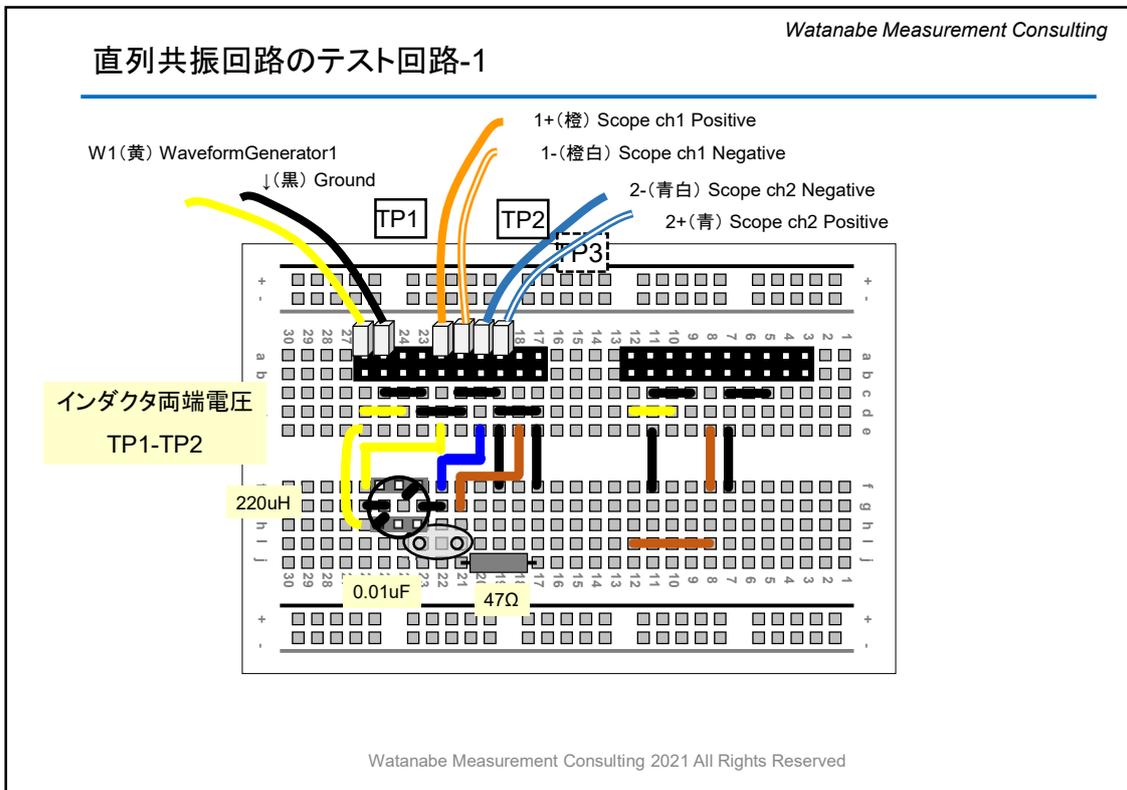
22



23



24

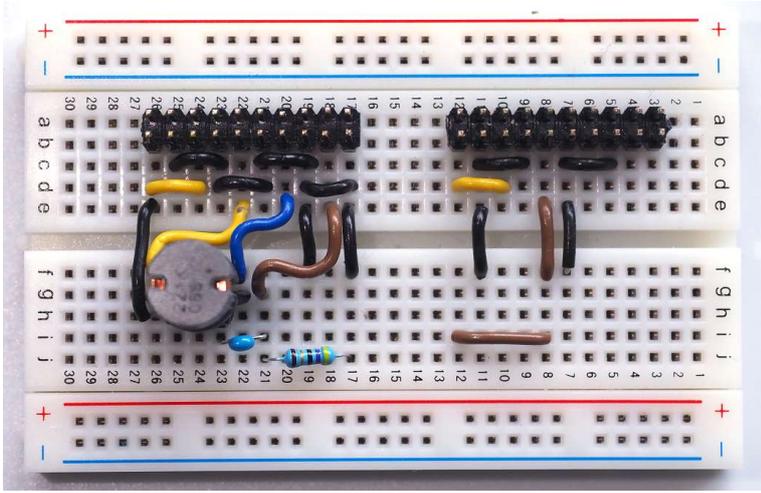


25

Watanabe Measurement Consulting

## 直列共振回路のテスト回路

---

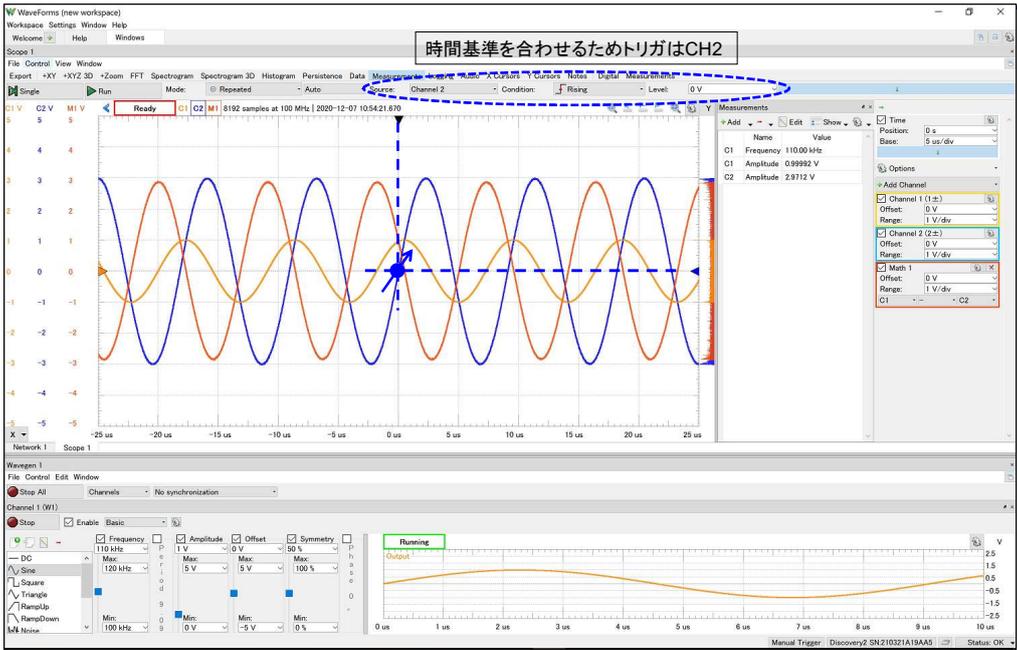


Watanabe Measurement Consulting 2021 All Rights Reserved

26

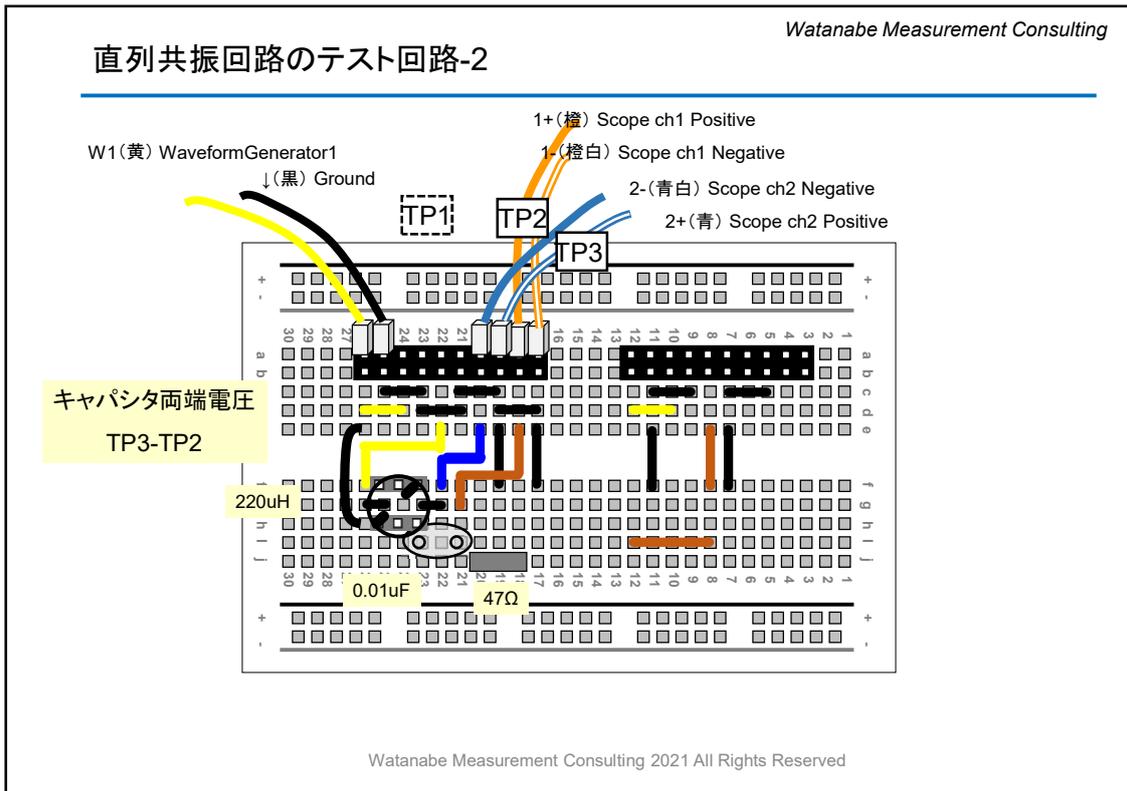
Watanabe Measurement Consulting

## インダクタ両端波形

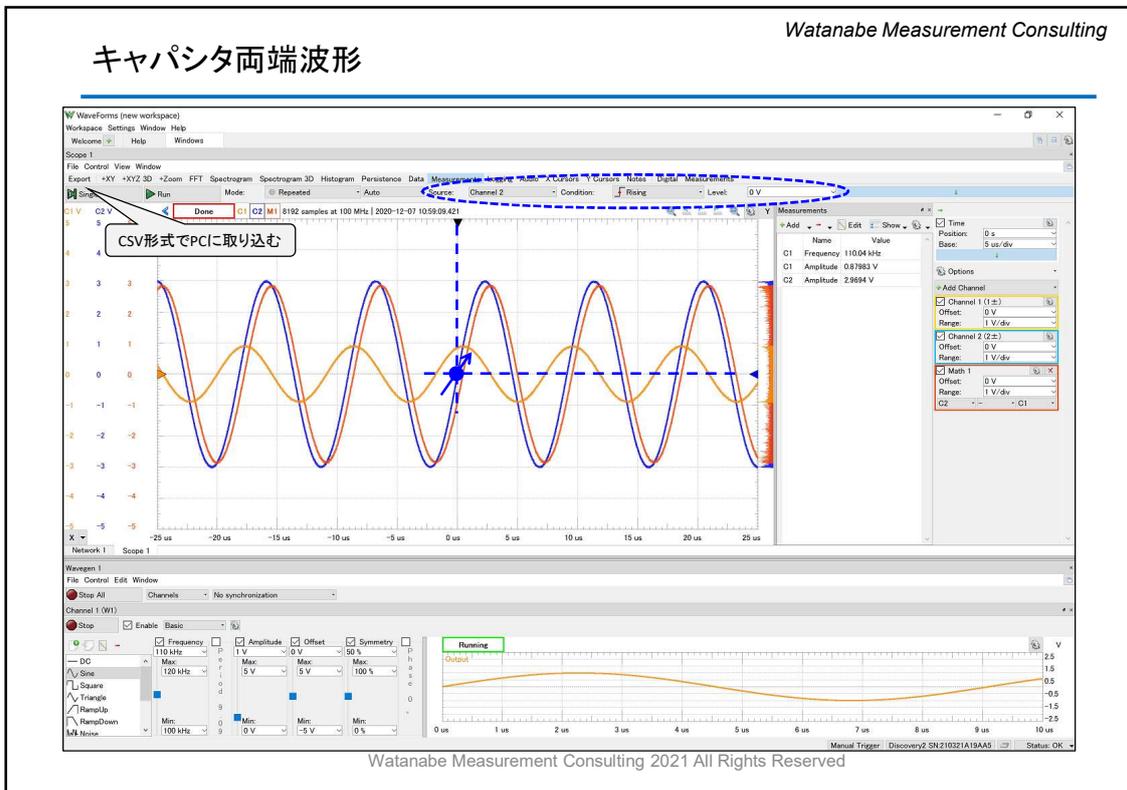


Watanabe Measurement Consulting 2021 All Rights Reserved

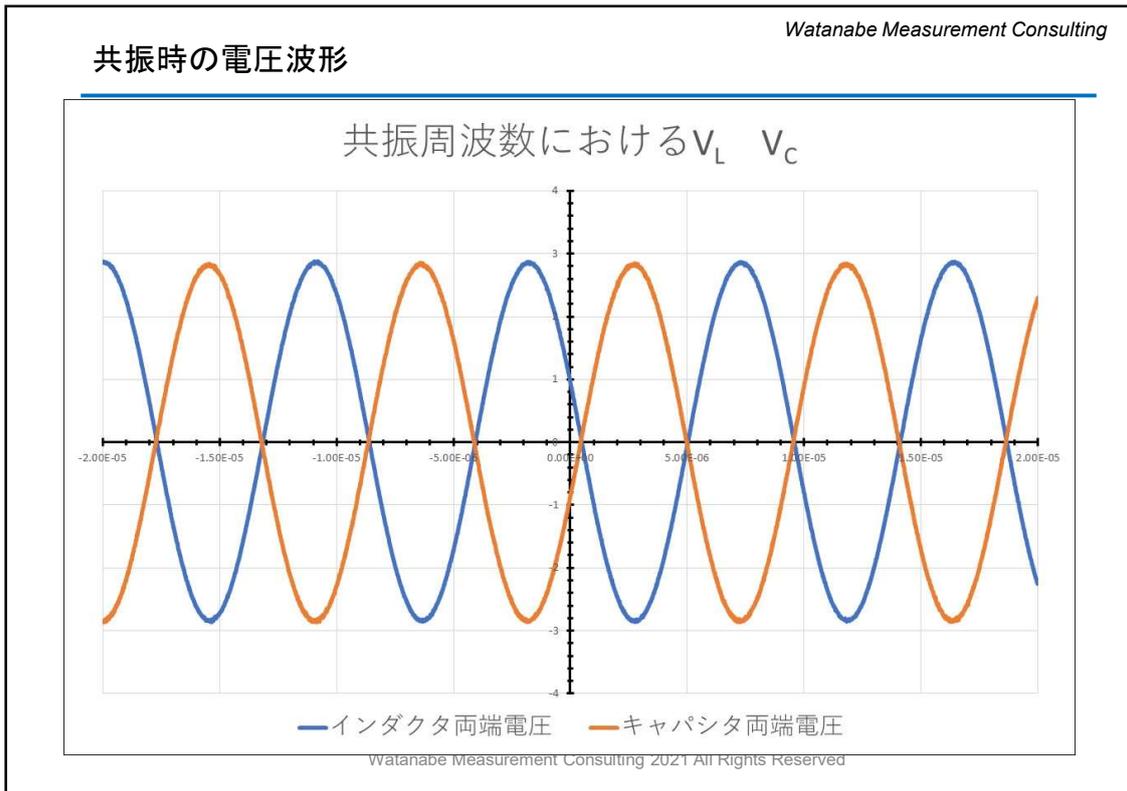
27



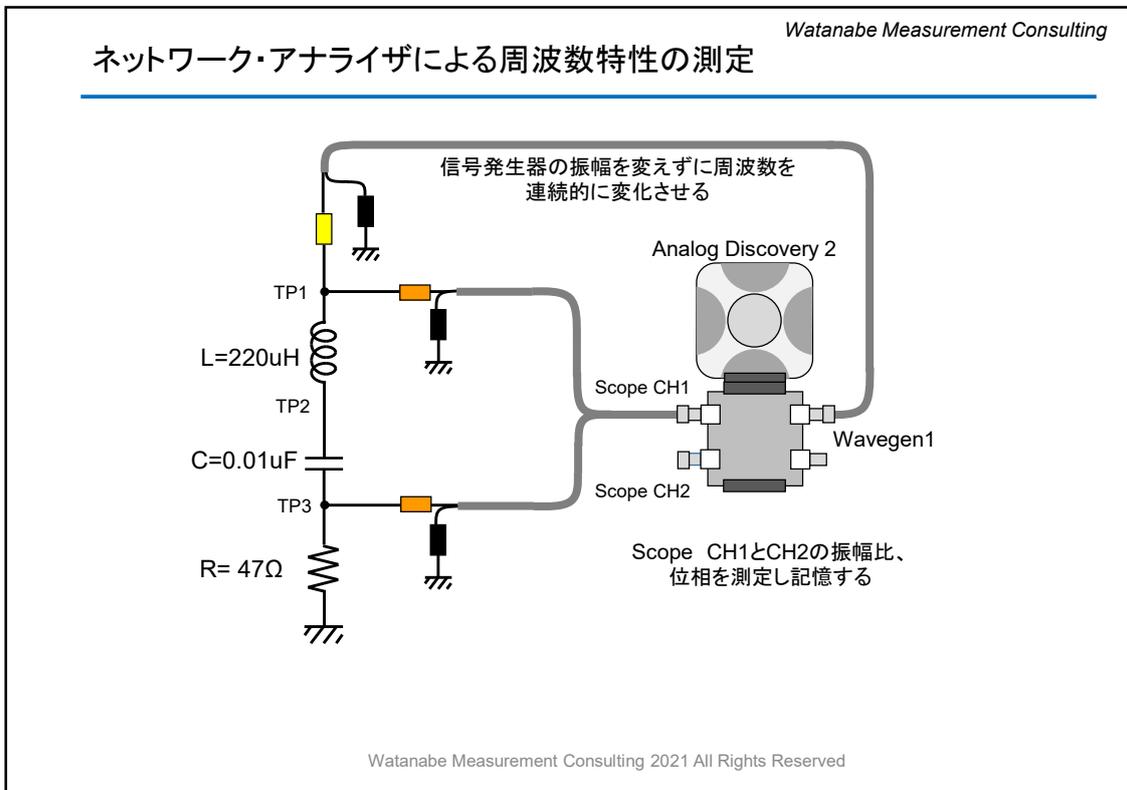
28



29



30



31

Watanabe Measurement Consulting

### 直列共振回路 周波数特性の測定

W1(黄) WaveformGenerator1  
 ↓(黒) Ground

1+(橙) Scope ch1 Positive  
 1-(橙白) Scope ch1 Negative

2-(青白) Scope ch2 Negative  
 2+(青) Scope ch2 Positive

Watanabe Measurement Consulting 2021 All Rights Reserved

32

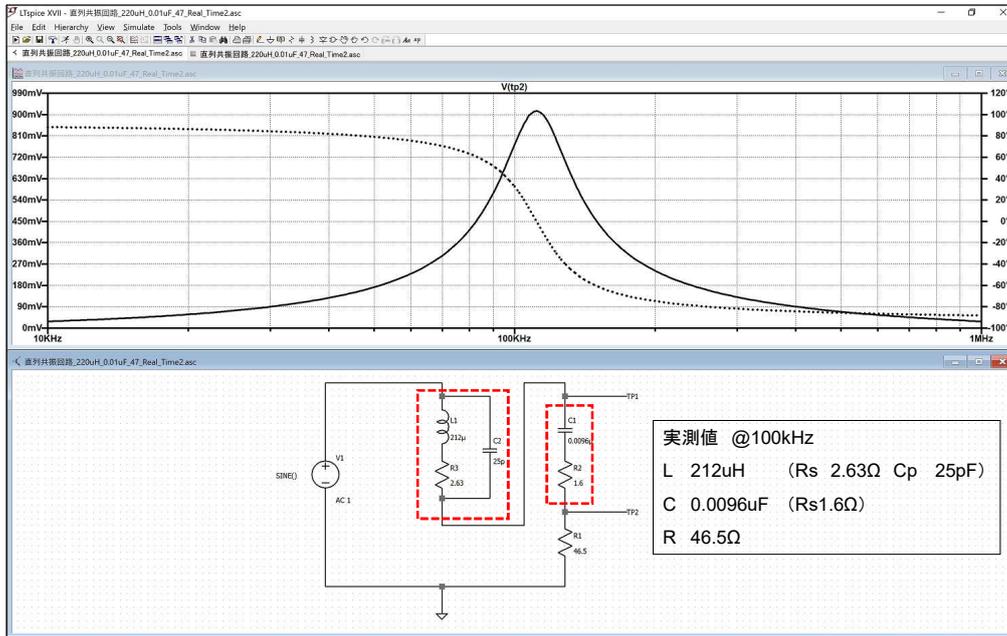
Watanabe Measurement Consulting

### 結果

Watanabe Measurement Consulting 2021 All Rights Reserved

33

### 実測モデルを使ったLTSpiceシミュレーション結果



Watanabe Measurement Consulting 2021 All Rights Reserved