

スパークチェンバーの作製

榑真吾 田中裕己 三宅聡平 吉田将

2016年3月

目次

1. 動機・背景
2. 原理
3. 作製手順
4. 結果
5. 考察

1. 動機・背景

放射線が見たい！

宇宙線

身の回りには放射線が飛び交っている。

- ・宇宙線
- ・建物のコンクリート
- ・医療用
- ・etc.

でも見えないから実感できない。

→見たい！

コンクリートからの放射線

宇宙線とは何か？

超新星や太陽で発生した
高エネルギーの陽子や
 α 粒子(1次宇宙線)が
大気中の原子核と相互作用
して発生した粒子
(2次宇宙線)

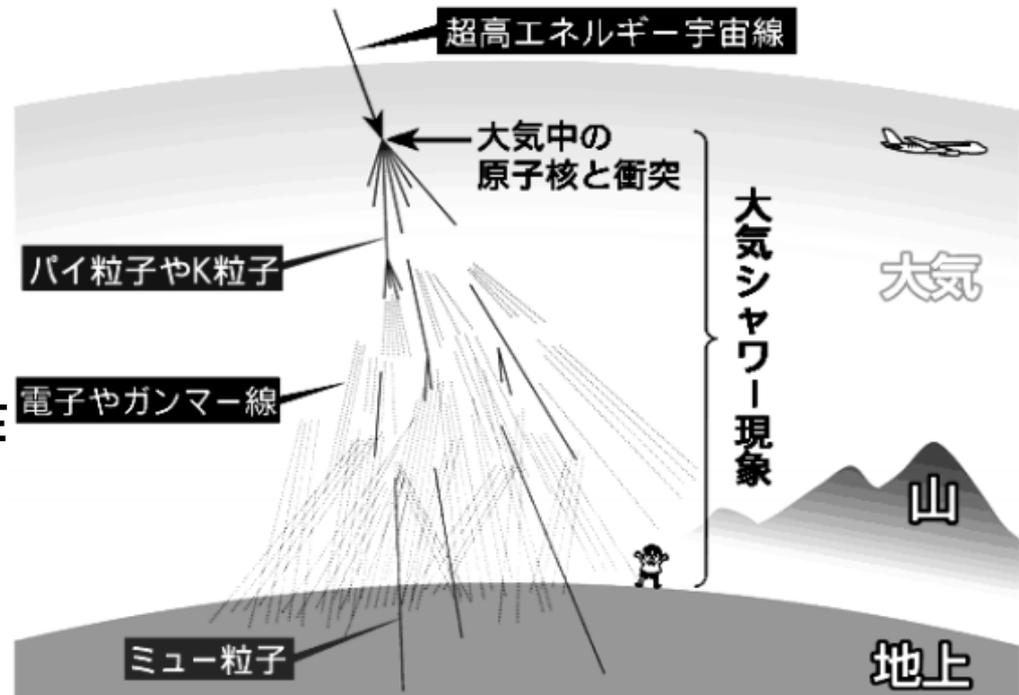


図1：大気シャワーによる二次宇宙線の生成

ほとんどが μ 粒子

2007年KEKサマーチャレンジ
資料より引用

スパークチェンバーが生まれるまで

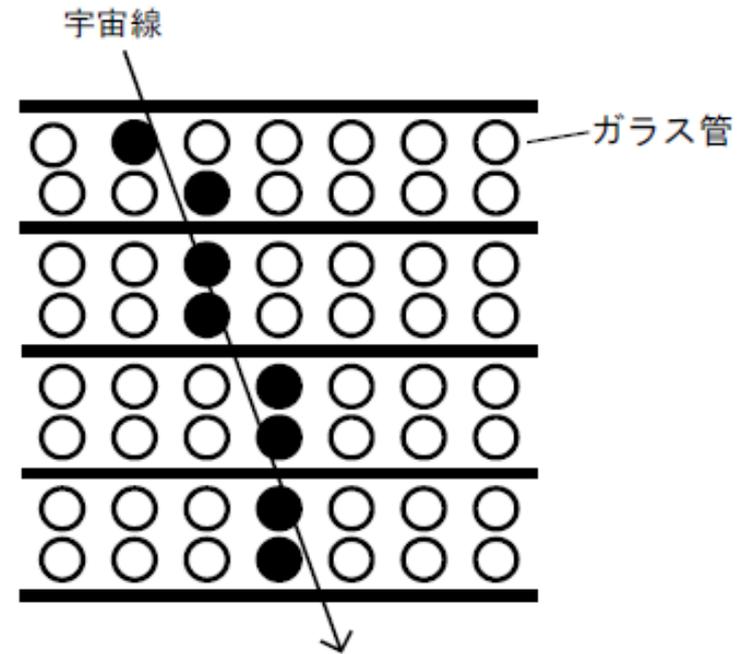
粒子の飛跡を観測する装置としてはまず

- ・霧箱(1897年)
- ・泡箱(1952年) があった。

そして1955年に、気体放電を用いる新方式の装置が開発された。

スパークチェンバーの前身となる

ホドスコープチェンバーである。



ホドスコープチェンバー
概念図

これがスパークチェンバーだ！

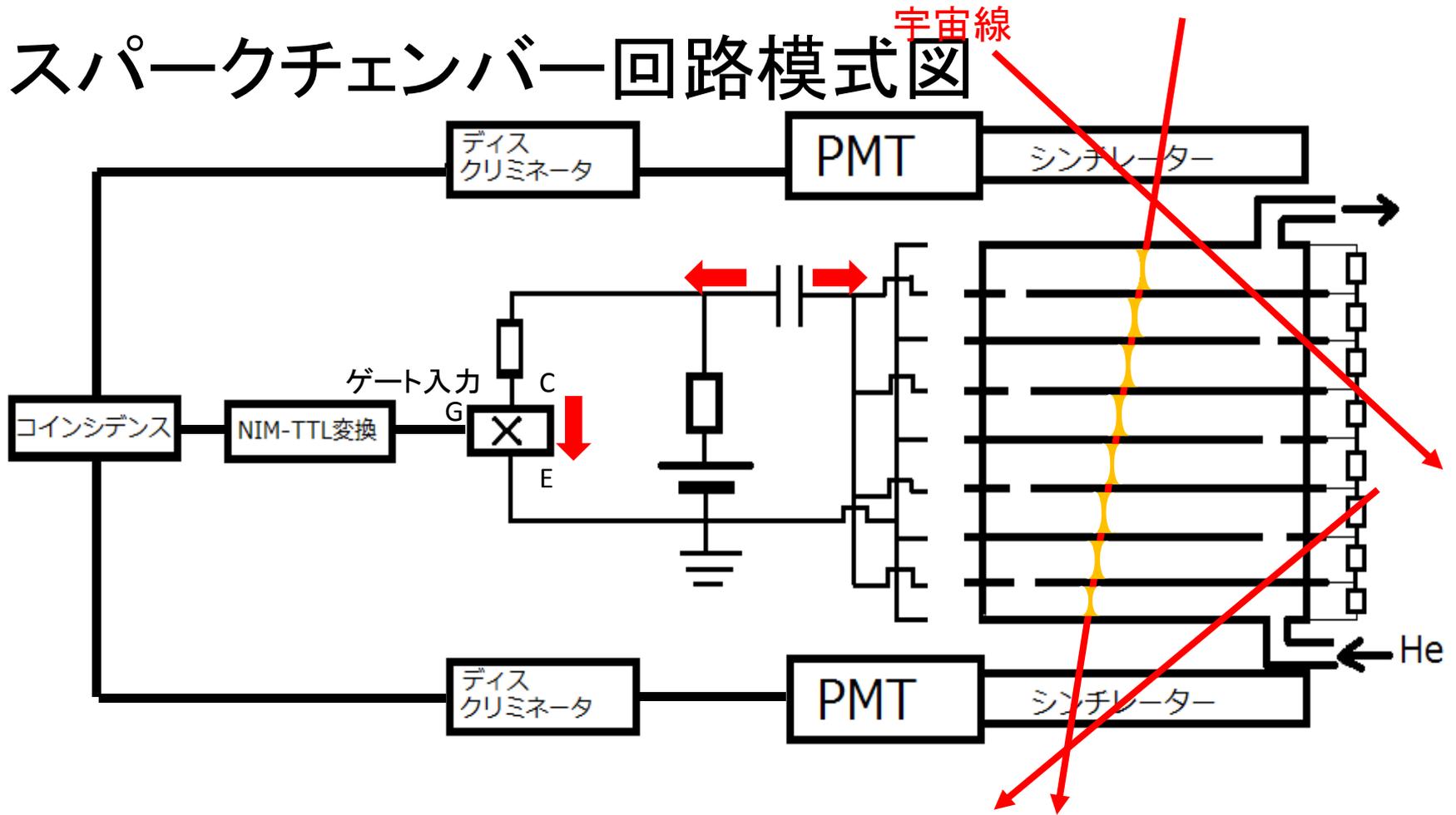
スパークチェンバーは
1957年に大阪大学の
福井崇時と宮本重徳に
よって開発された。
ガラス管の太さで位置
分解能が制限されていた
ホドスコープチェンバーに
比べて局所性が高いの
が特徴。
何よりカッコイイ。



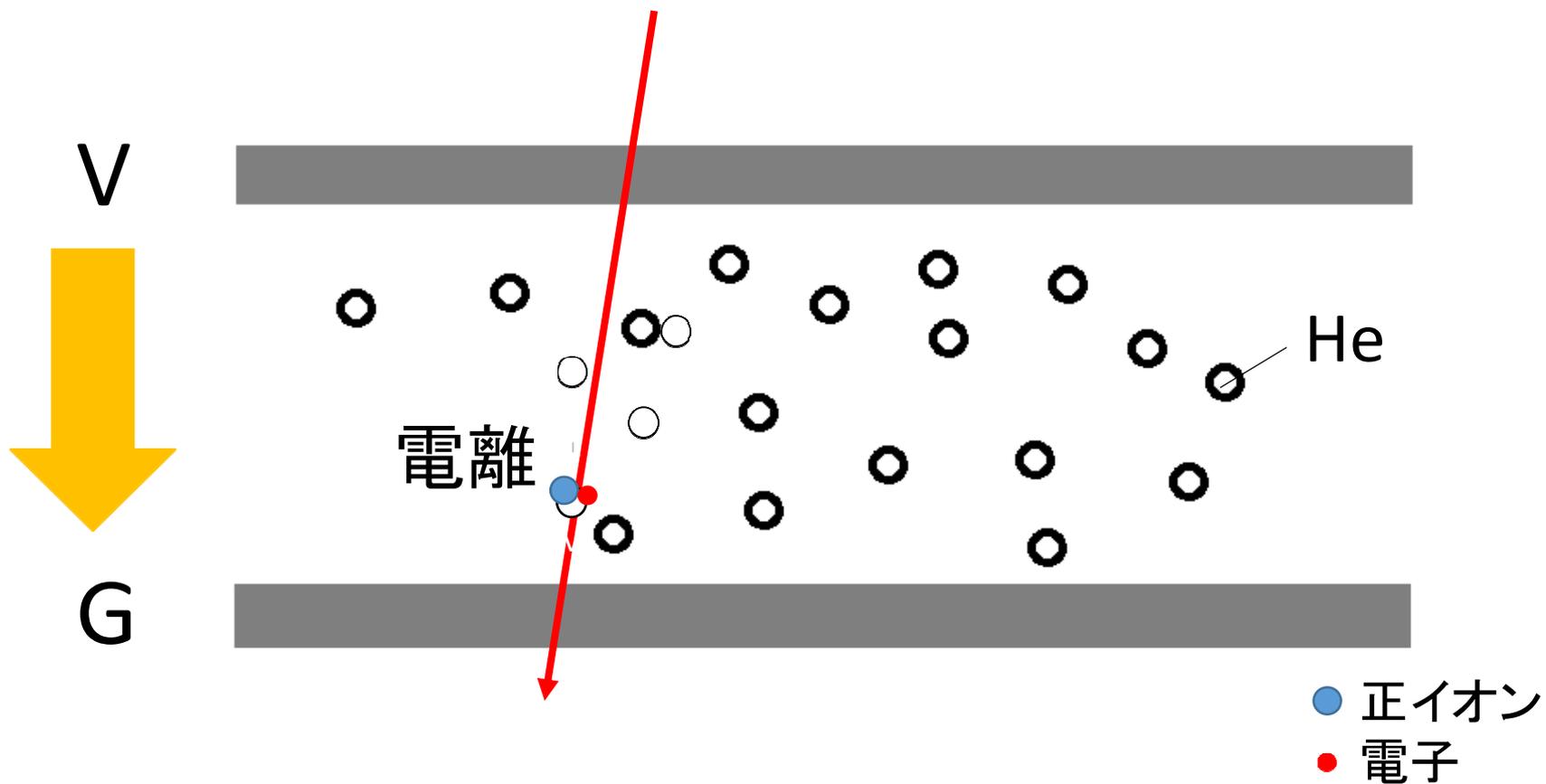
写真はKEKにあるスパークチェンバー

2.原理

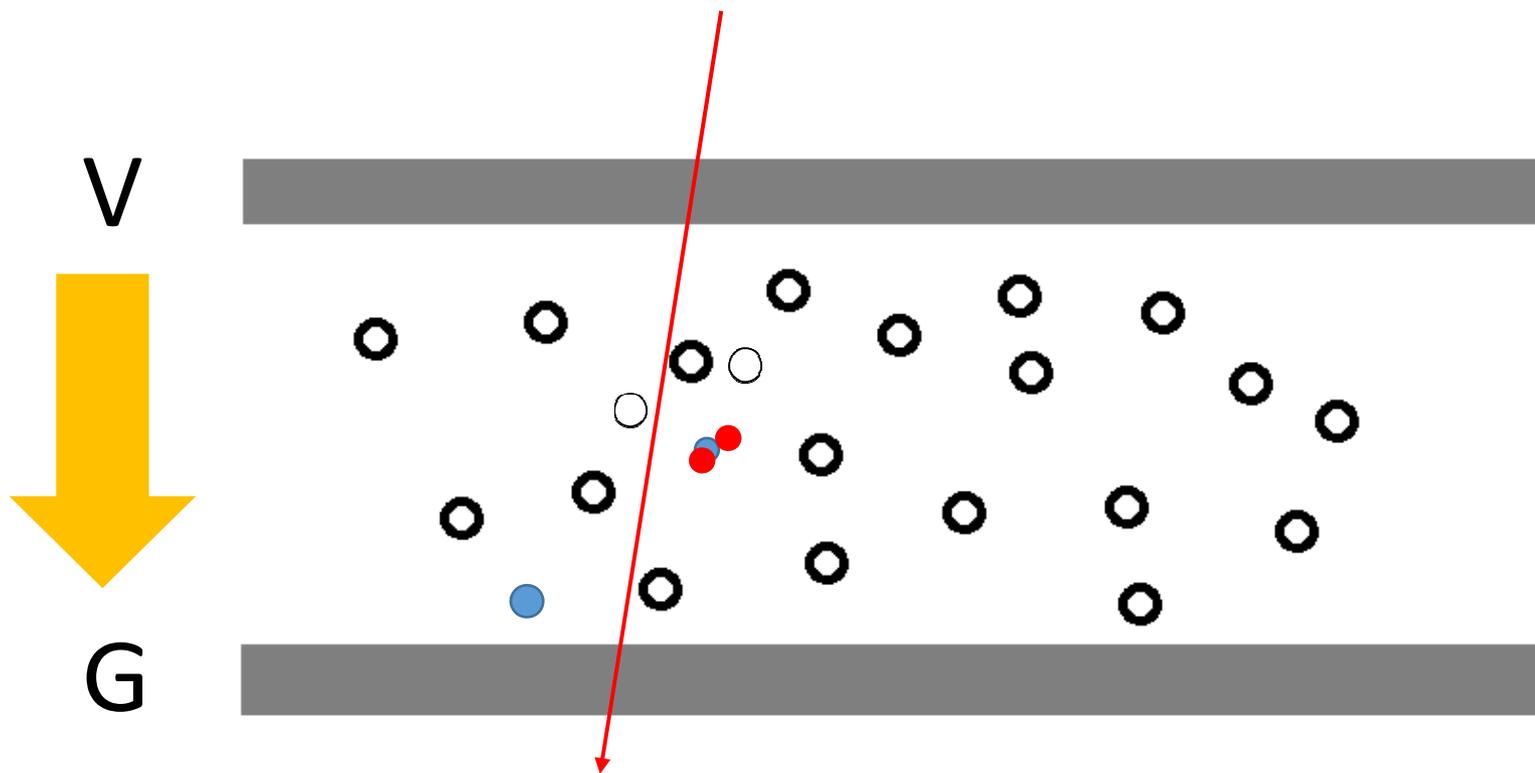
スパークチェンバー回路模式図



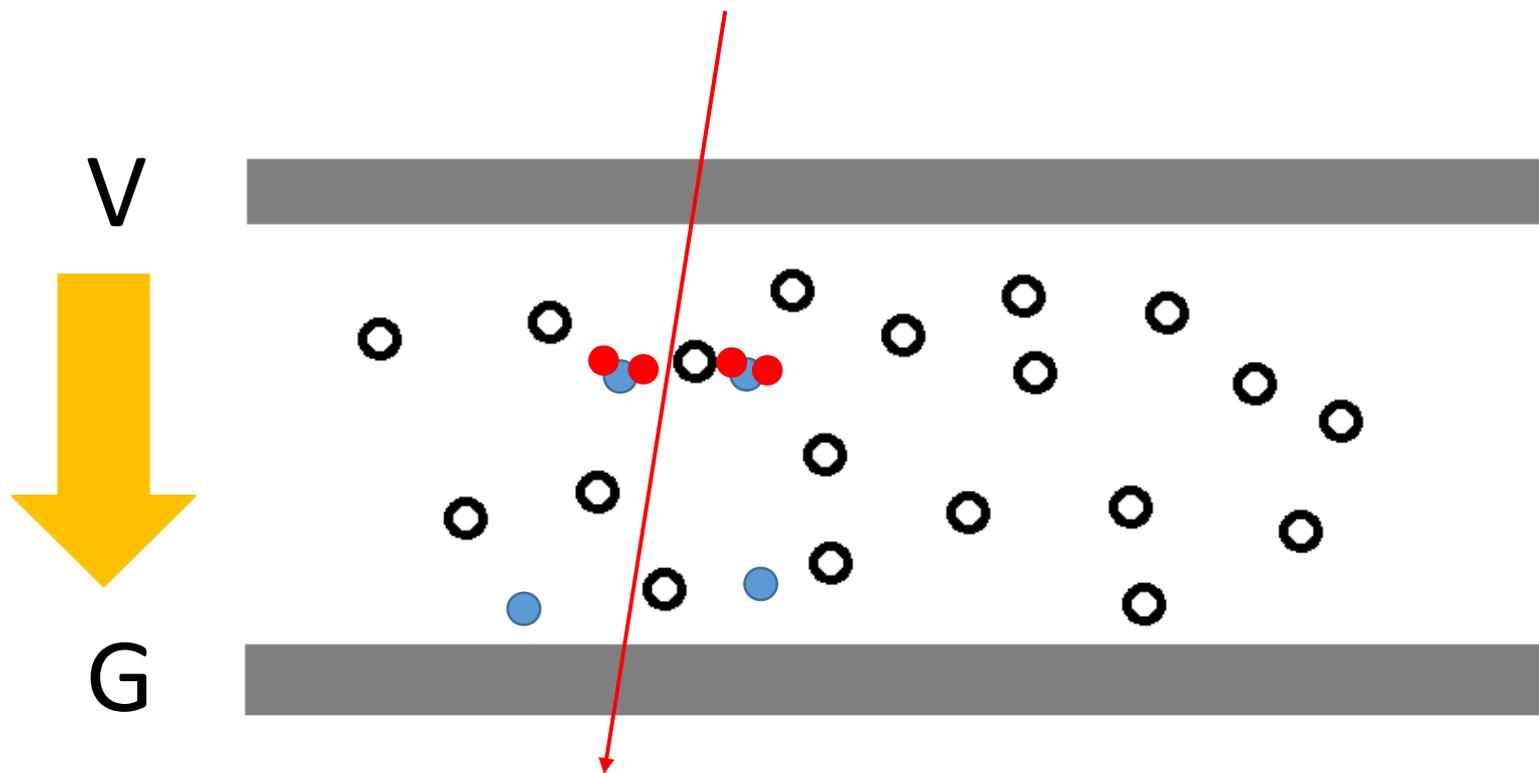
スパークが起こる機構



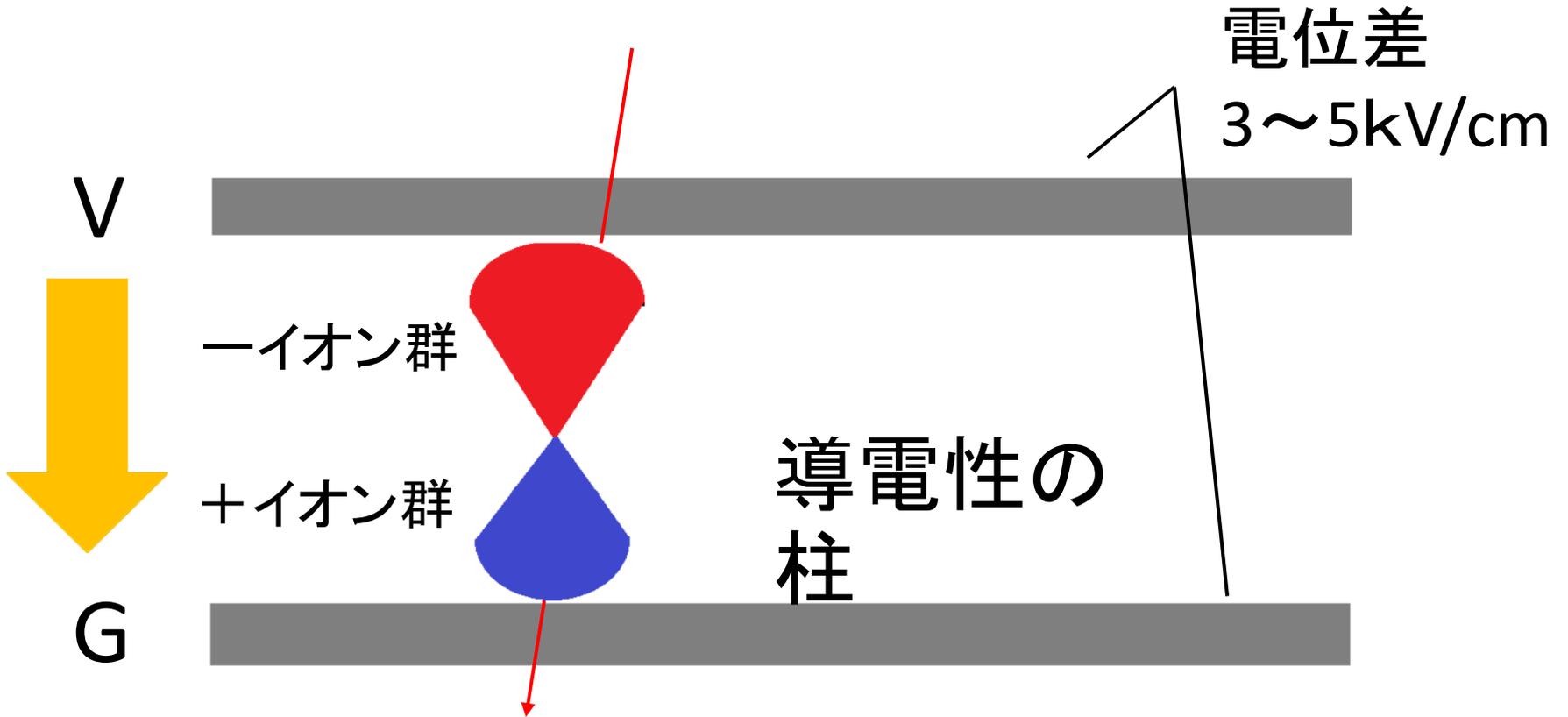
スパークが起こる機構



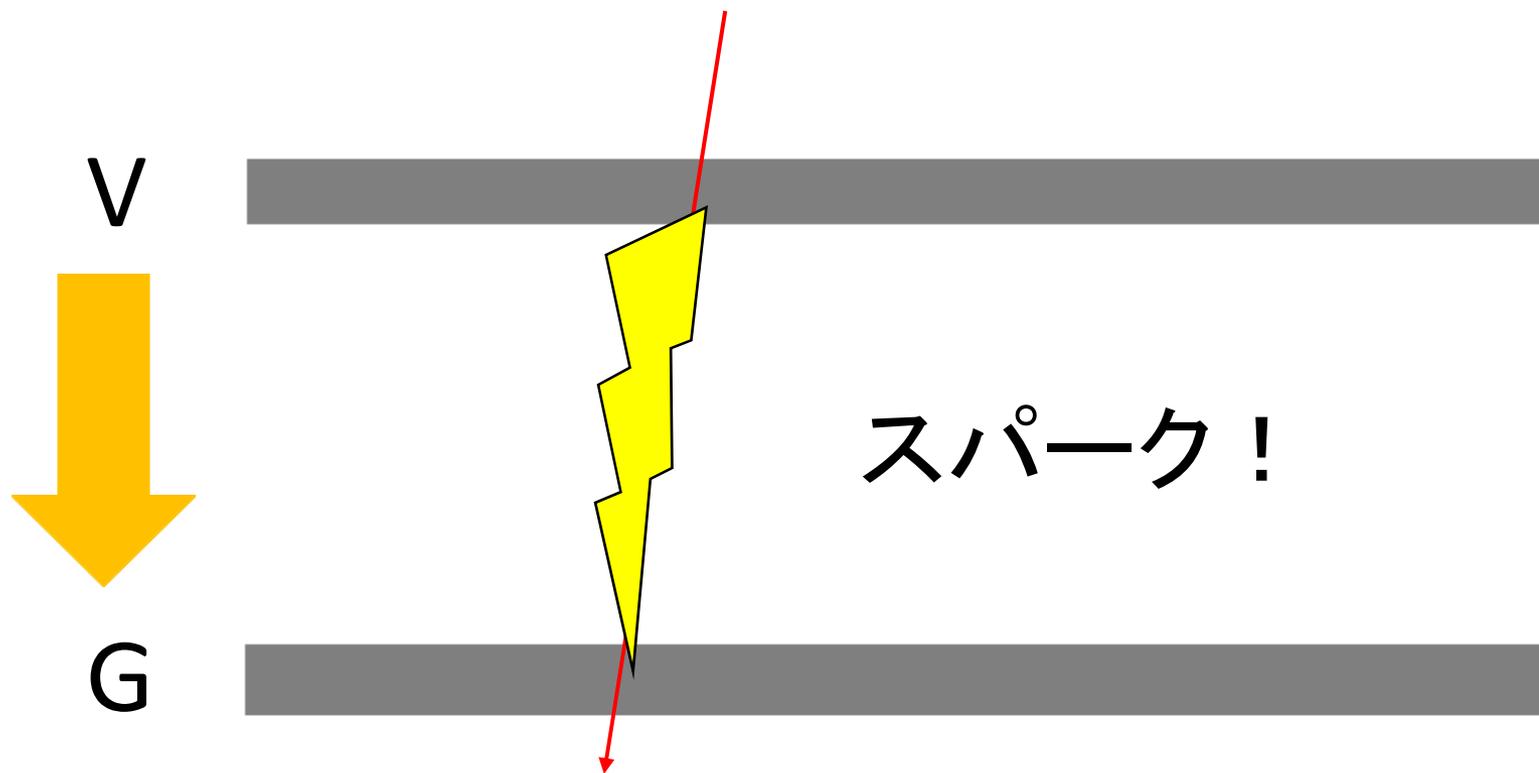
スパークが起こる機構



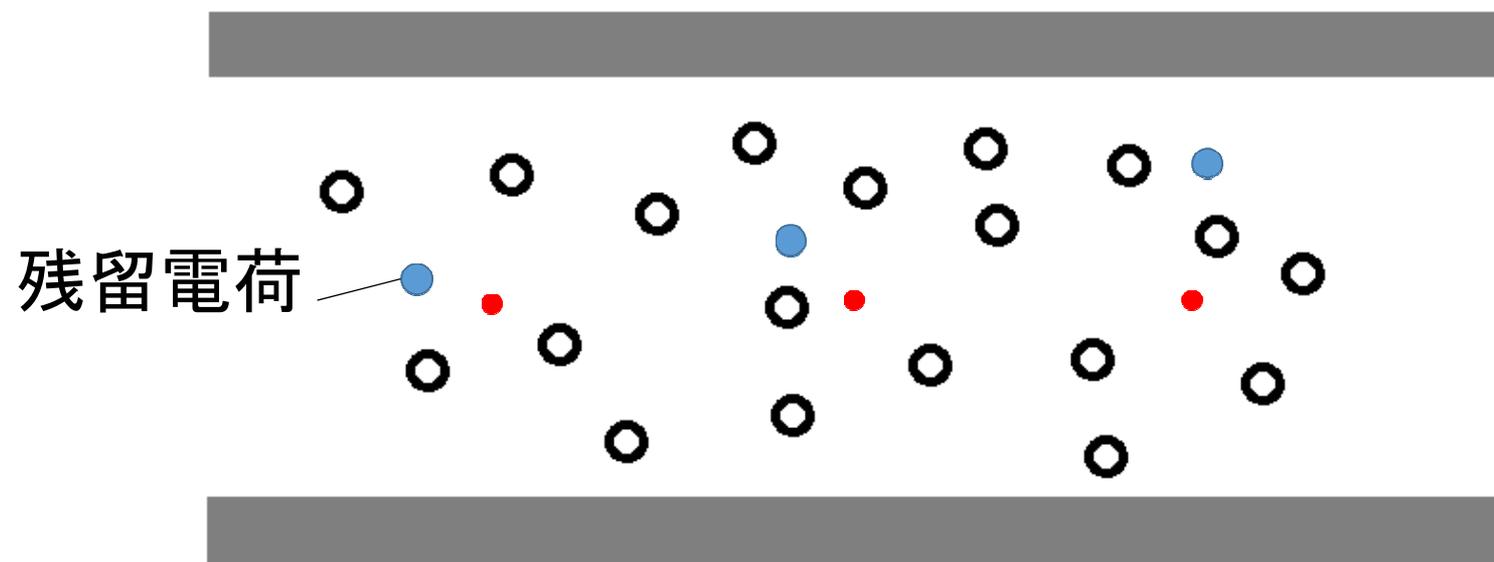
スパークが起こる機構



スパークが起こる機構



スパークが起こる機構

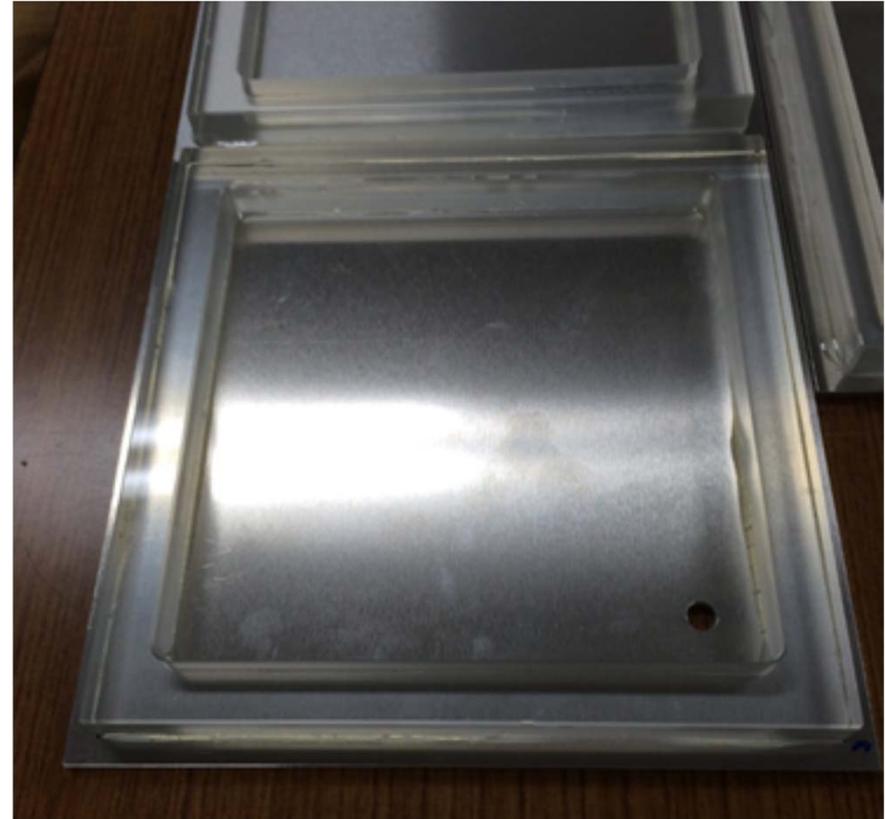


3. 作製手順

スパークチェンバー本体の作製①

アルミ極板にスペーサーとなる
アクリル枠を張り付けた

極板右下の穴は
Heガス導通用である

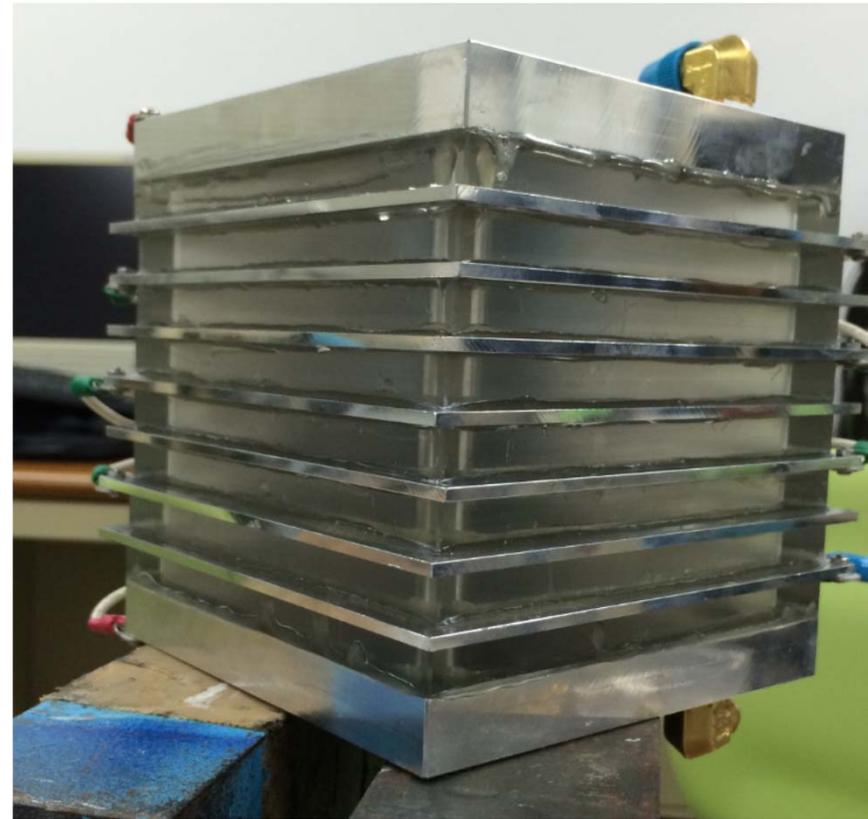


スパークチェンバー本体の作製②

8層積み重ね完成

この中でスパークが
起こることになる

→回路を組んでいく



スパークチェンバーの静電容量

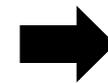
$$C = \epsilon_0 \epsilon_s \frac{S}{l}$$

1ユニットの静電容量

$$8.852 \times 10^{-12} \times \left[\underbrace{(2.7 \sim 4.5) \cdot \frac{0.01}{0.01}}_{\text{アクリル}} + \underbrace{(1 + 7 \times 10^{-5}) \cdot \frac{0.0044}{0.01}}_{\text{ヘリウム}} \right] = 19.3 \sim 26.3 [\text{pF}]$$

全体の静電容量

$$(19.3 \sim 26.3) \times 8 = 155 \sim 211 [\text{pF}]$$



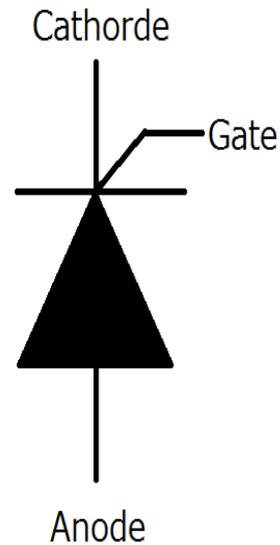
ほかの素子の
規格決定

10kV耐圧

サイリスタ

Xとして
サイリスタを用いた

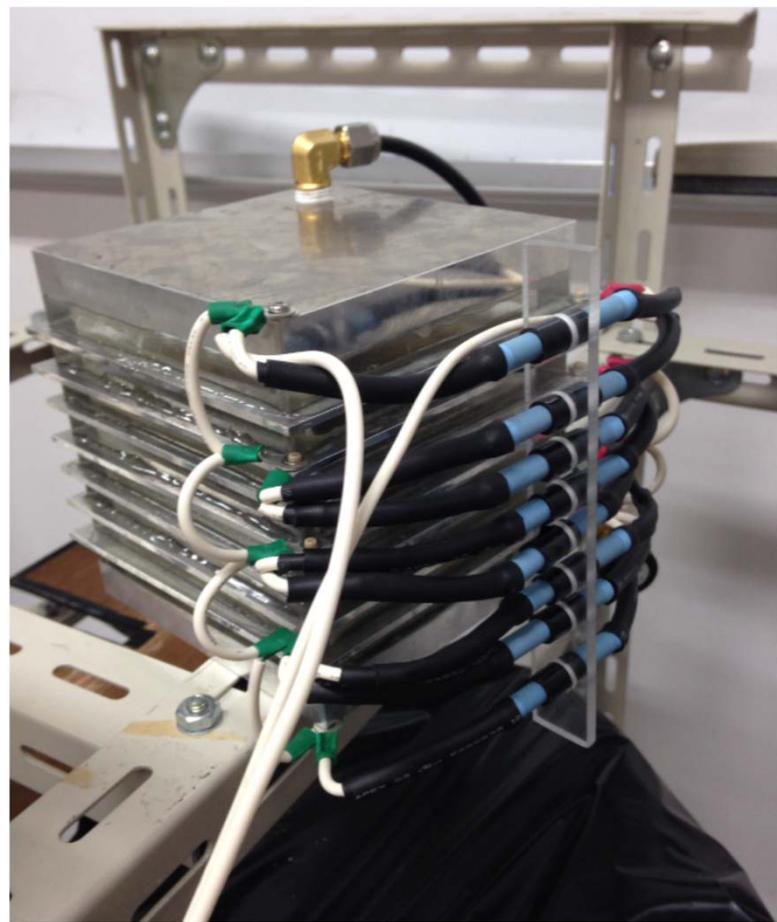
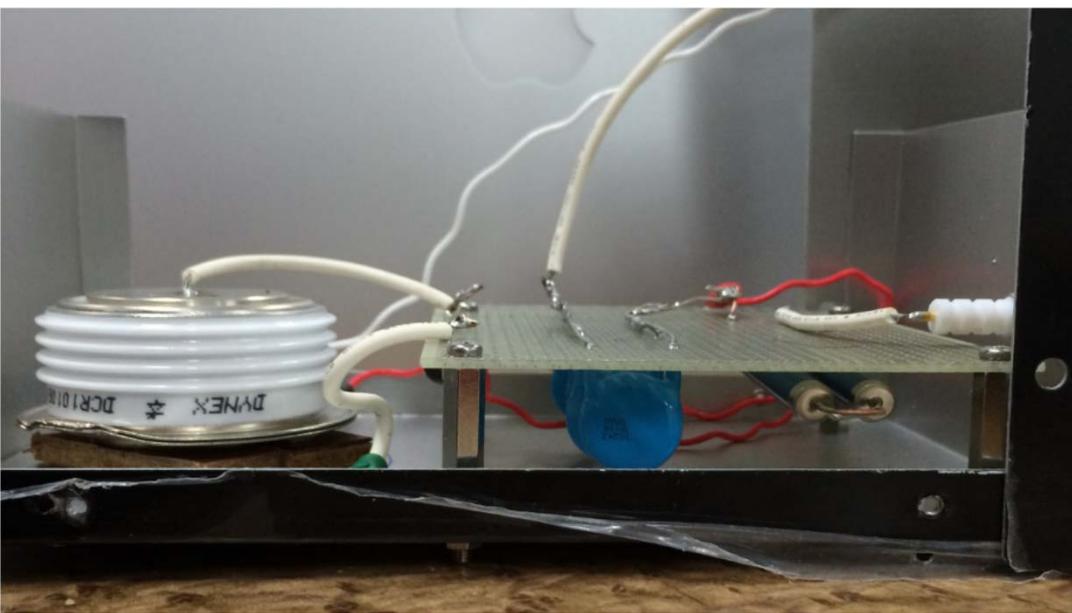
ゲートに信号が入力されれば
アノードからカソードへ電流が流れる



回路組み立て

回路完成

いざ高電圧印加



しかし

サイリスタの耐圧が1400Vだった！

一桁見間違えていた！

10kV耐圧のサイリスタを頼もう

納期は

半年後！

ムリ！

次の手へ

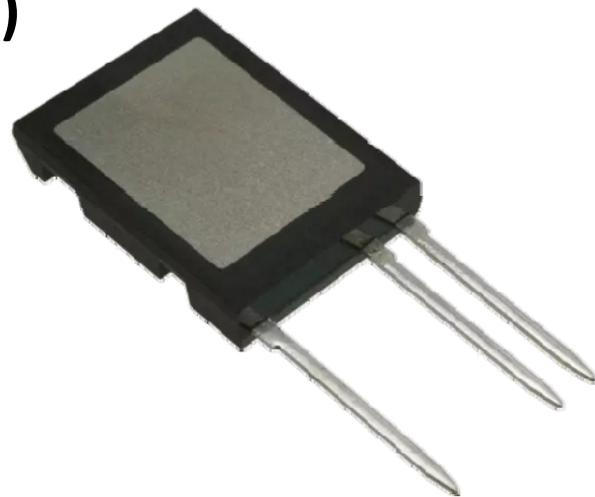
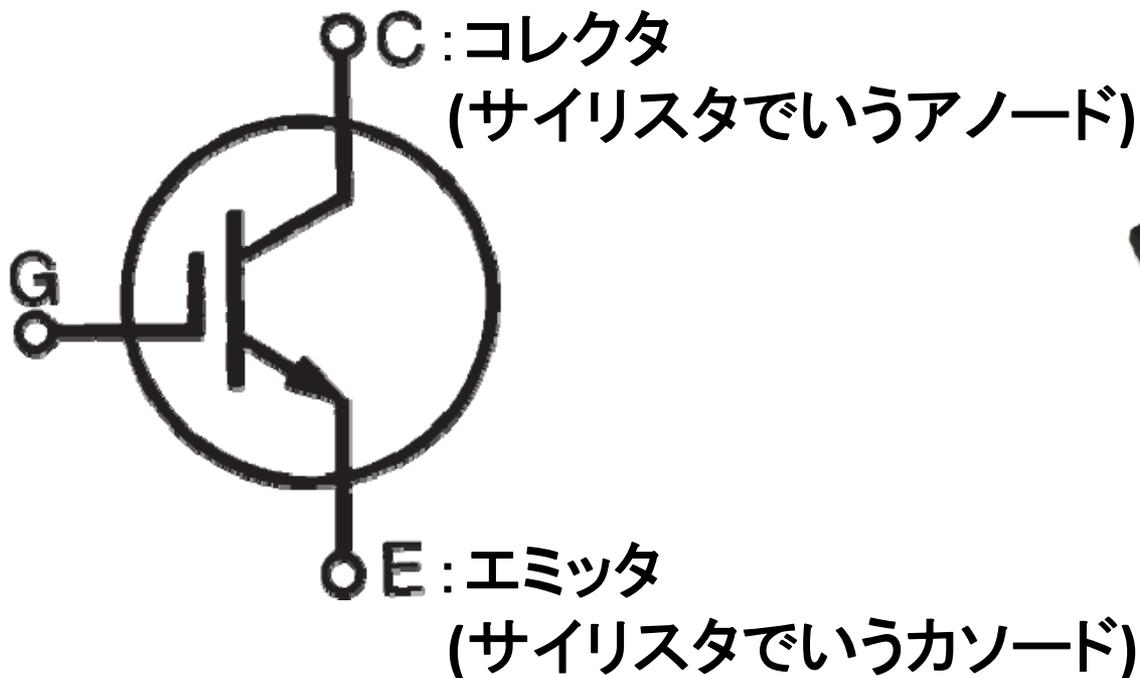
すぐに手に入りそうな高耐圧スイッチング
素子を探したところ...

4kV耐圧のIGBTが見つかった！

在庫あり・即日発送可 これで決まり！

IGBTとは

サイリスタと同様の半導体スイッチ
高圧下での電圧降下が少ないという
特長がある



耐圧4kV？

チェンバーには電源電圧の約86%がかかる計算
スパーク発生には **3~5 kV/cm** が必要
電源が 4kV では 3.4kV と少し不安

⇒2つ直列につないで耐圧を8kVにしよう！

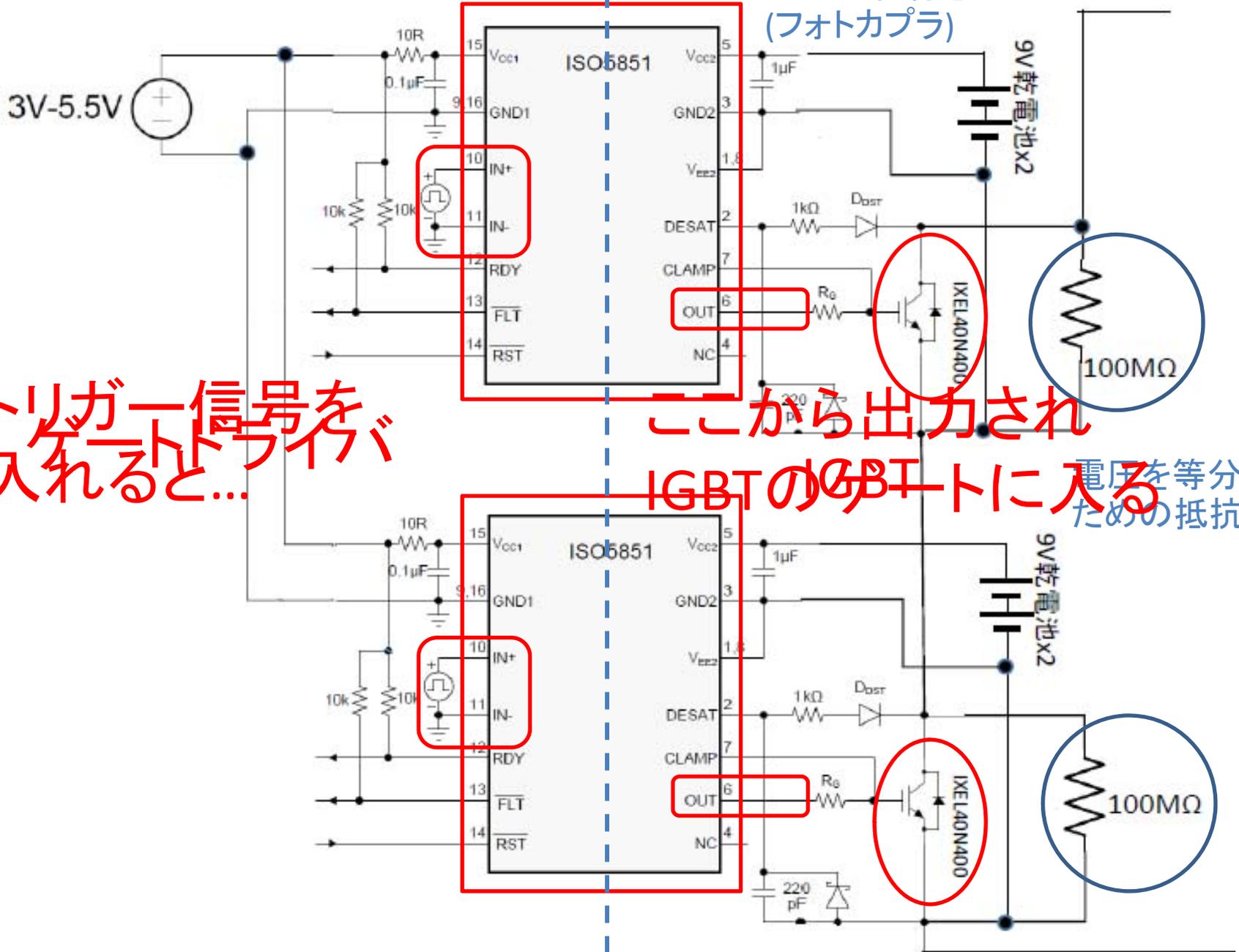
さらに、IGBTを駆動するには
ゲートドライバが必要だったり...

ゲートドライバを駆動するための
電源が必要だったり...

2つのIGBTに等しい電圧がかかるように
IGBTと並列に抵抗を接続しなければいけな
かったり...

そういった条件を満たす
回路がこちら！

左右は絶縁されている
(フォトカップラ)



トリガー信号を
ゲートドライバ
入れると...

ここから出力され

IGBTのゲートに入る

電圧を等分する
ための抵抗

そして出来上がった
回路がこちら！



あれ...？

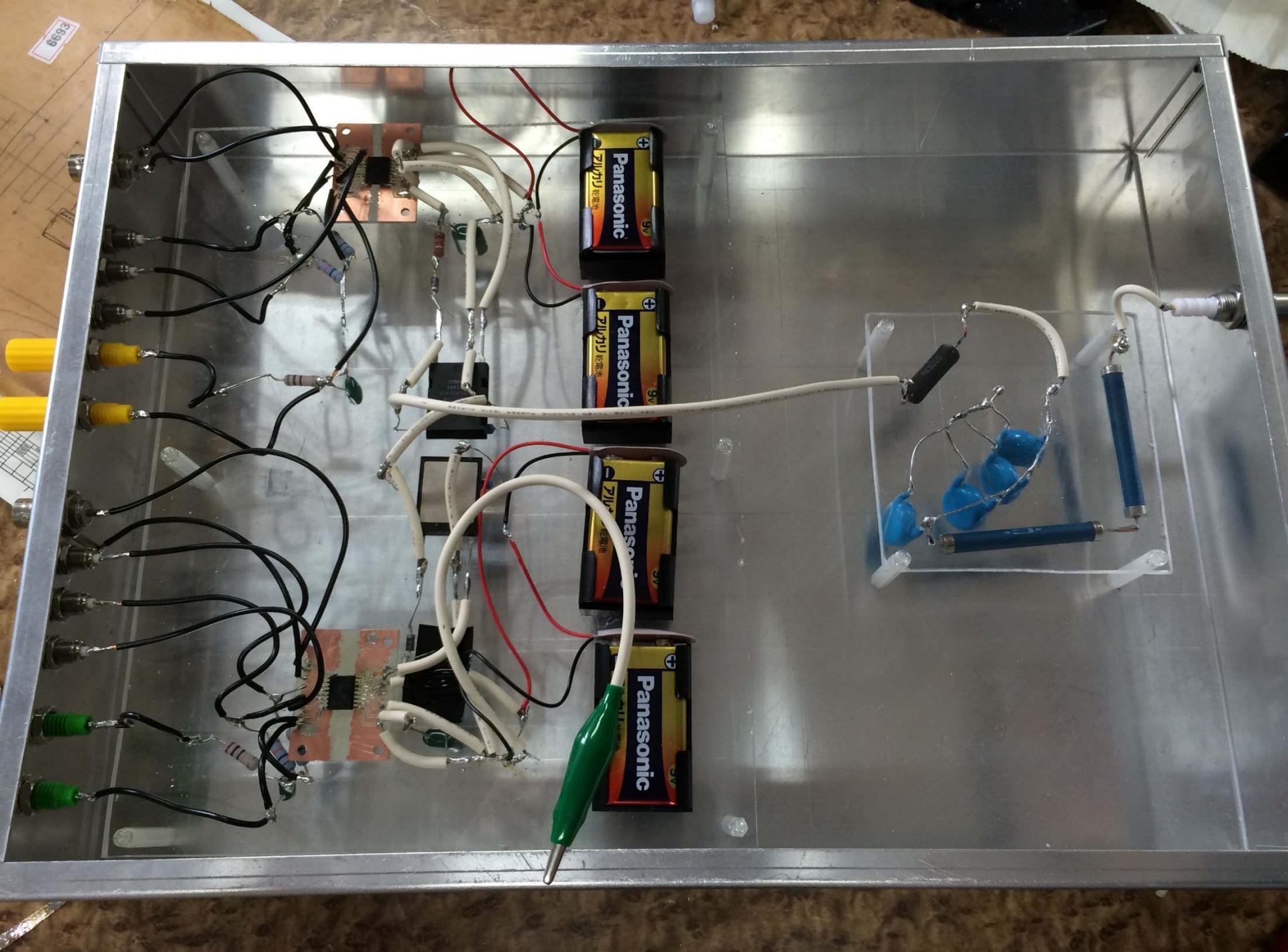
実は
IGBTとゲートドライバと100MΩ抵抗と
保護用ダイオードが
まだ届いていなかった

「即日発送可」だったけど、
発送元はアメリカだったのだ！

届くのは発表の3日前！はたしてスパー
クチェンバーは完成するのか！？

そして発表2日前...

ついに回路が**完成**！



Panasonic
9V
7LR61UMC
乾電池

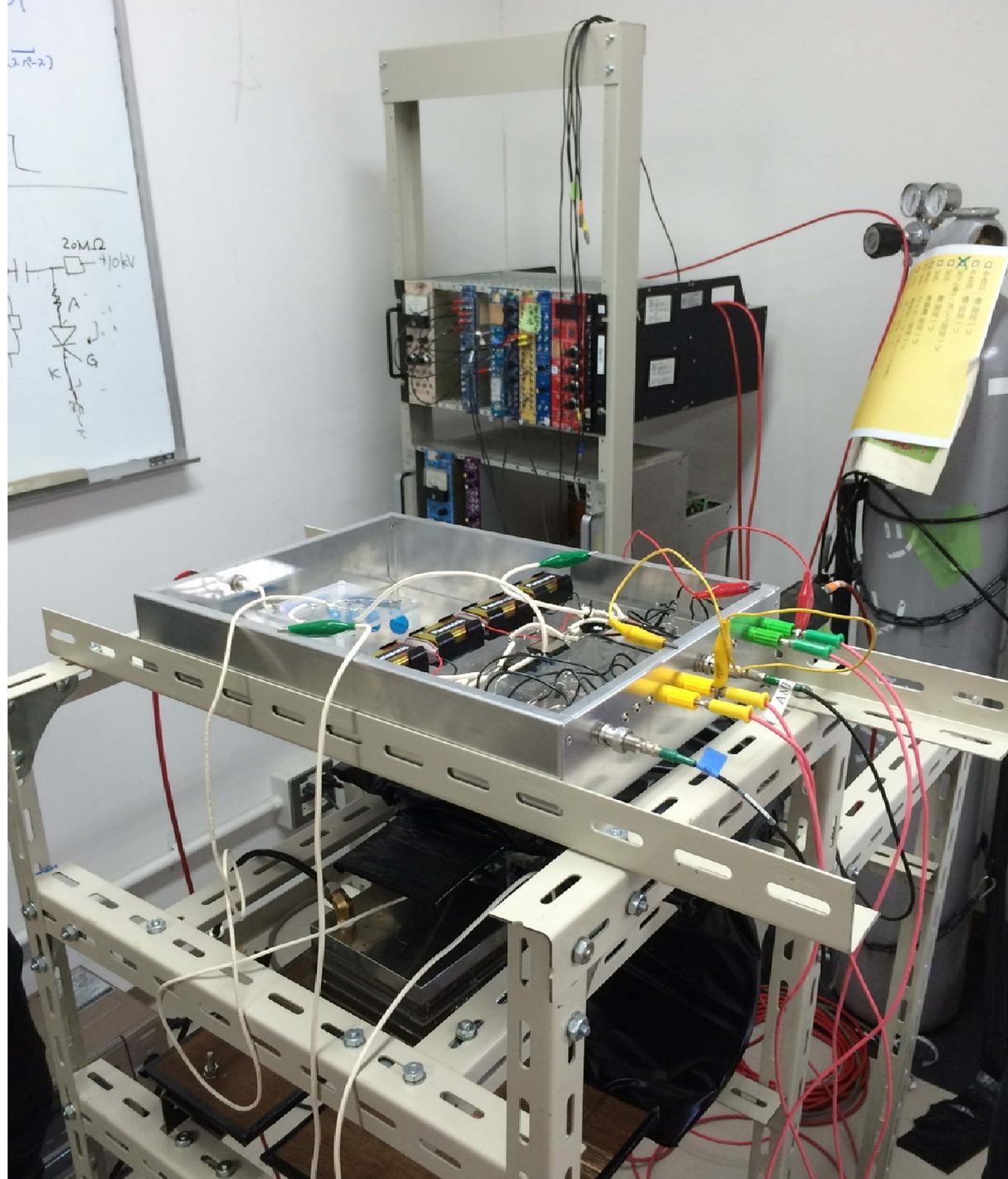
Panasonic
9V
7LR61UMC
乾電池

Panasonic
9V
7LR61UMC
乾電池

Panasonic
9V
7LR61UMC
乾電池

Three blue LEDs and two blue resistors are connected in a circuit within a small white box.

8599



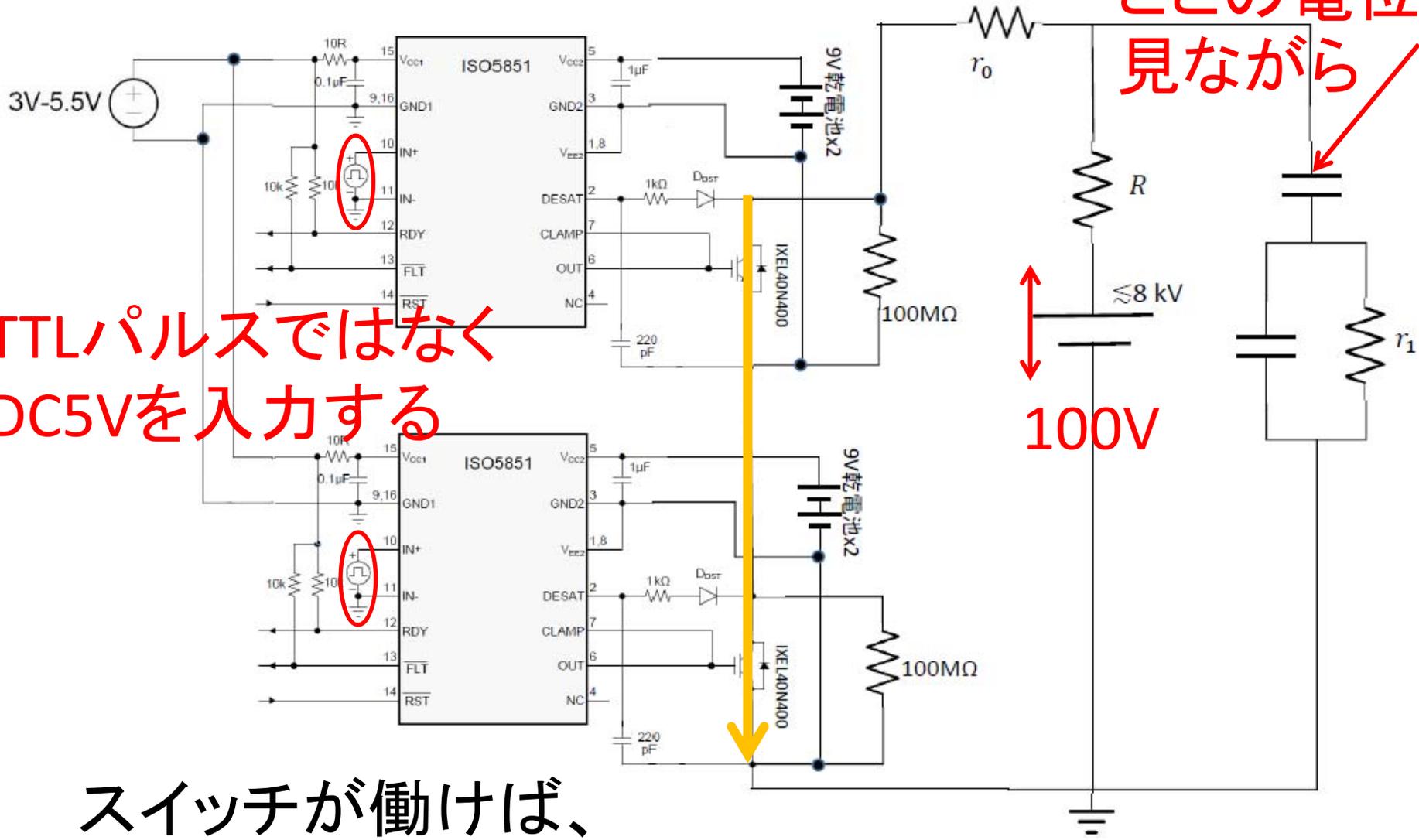
4.結果

スイッチング確認

いきなり8kVをかけたら、回路に不備があったときに素子が壊れてしまうかも。

→電源電圧を100Vほどかけて
想定通りスイッチングが起きているか
を確認する

スイッチング確認の方法は...



この電位を見ながら

TTLパルスではなく
DC5Vを入力する

$\approx 8\text{ kV}$
100V

スイッチが働けば、
電位は約90V→約0Vと急激に落ちるはず

実際の確認の結果

90V→0V

ではなく

33V→31Vとなっていた

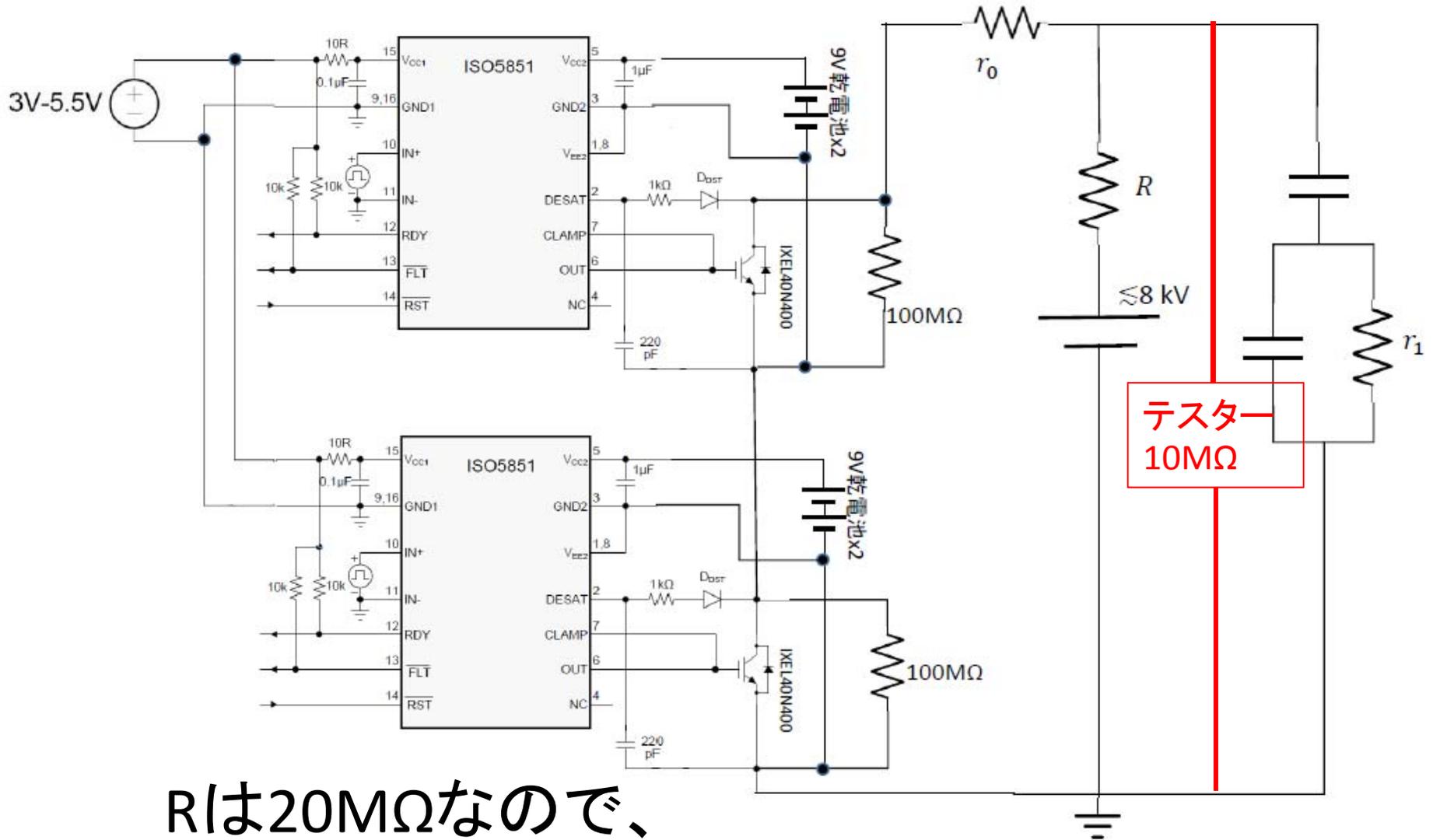
何かおかしい！

33Vの謎

そもそも電位が90Vほどあるべき点が
33Vなのは、
どうやら**テスターの内部抵抗**のせいらしい

テスターの内部抵抗が $10\text{M}\Omega$ しかなく、回路中の $200\text{M}\Omega$ 抵抗と並列になってしまった

テスターで触るのは抵抗を挟むのと同じ



Rは20MΩなので、
観測点の電位は電源電圧の3分の1になる

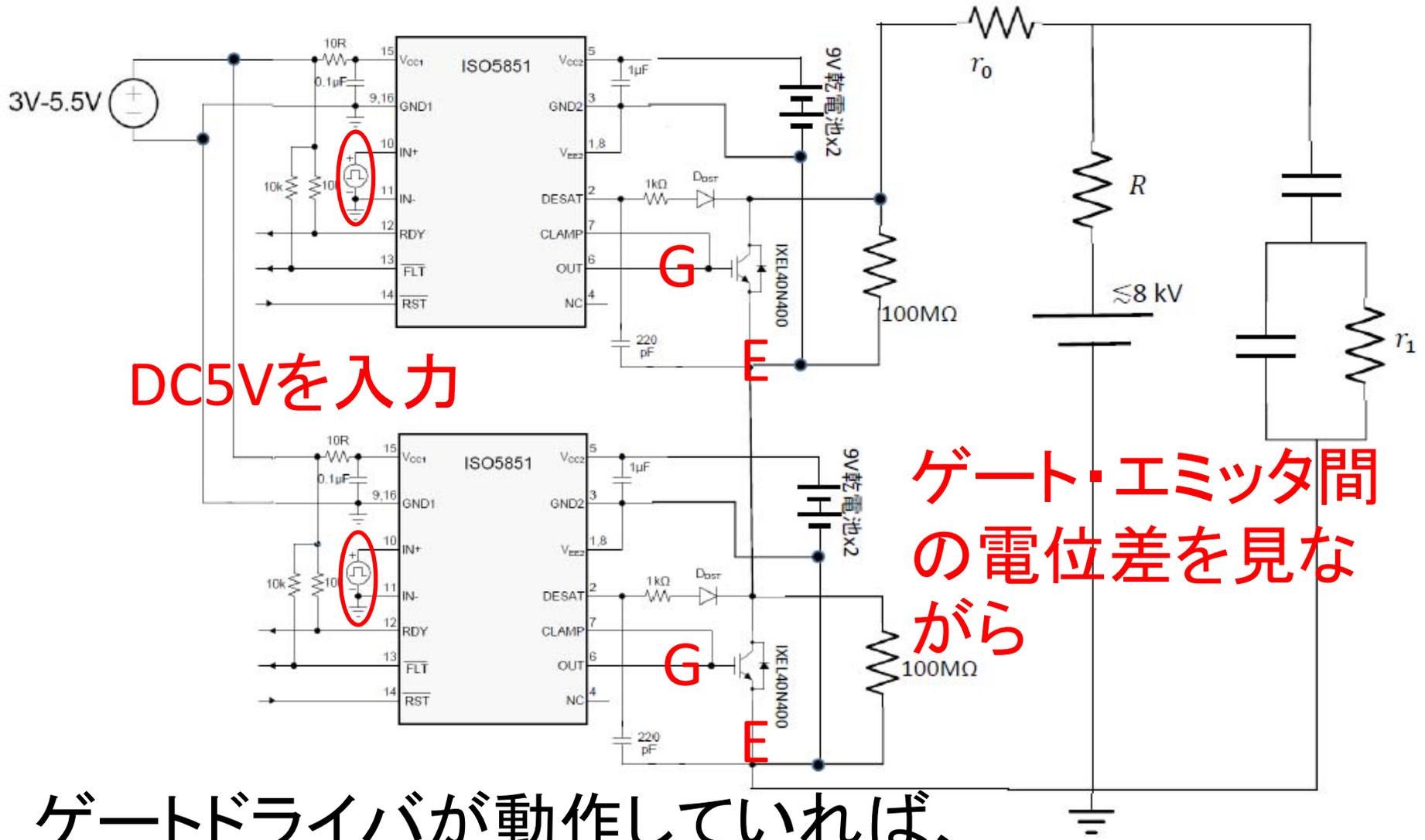
31Vの謎

スイッチングが働いていれば、テスターをつないでいても観測点の電位は0V近くまで落ちるはず

→スイッチングが働いていない！

IGBTかゲートドライバの不具合？

ゲートドライバがゲートを出力しているか調べる...



DC5Vを入力

ゲート・エミッタ間の
電位差を見ながら

ゲートドライバが動作していれば、
GはEより電池の電圧分(18V)電位が高くなる

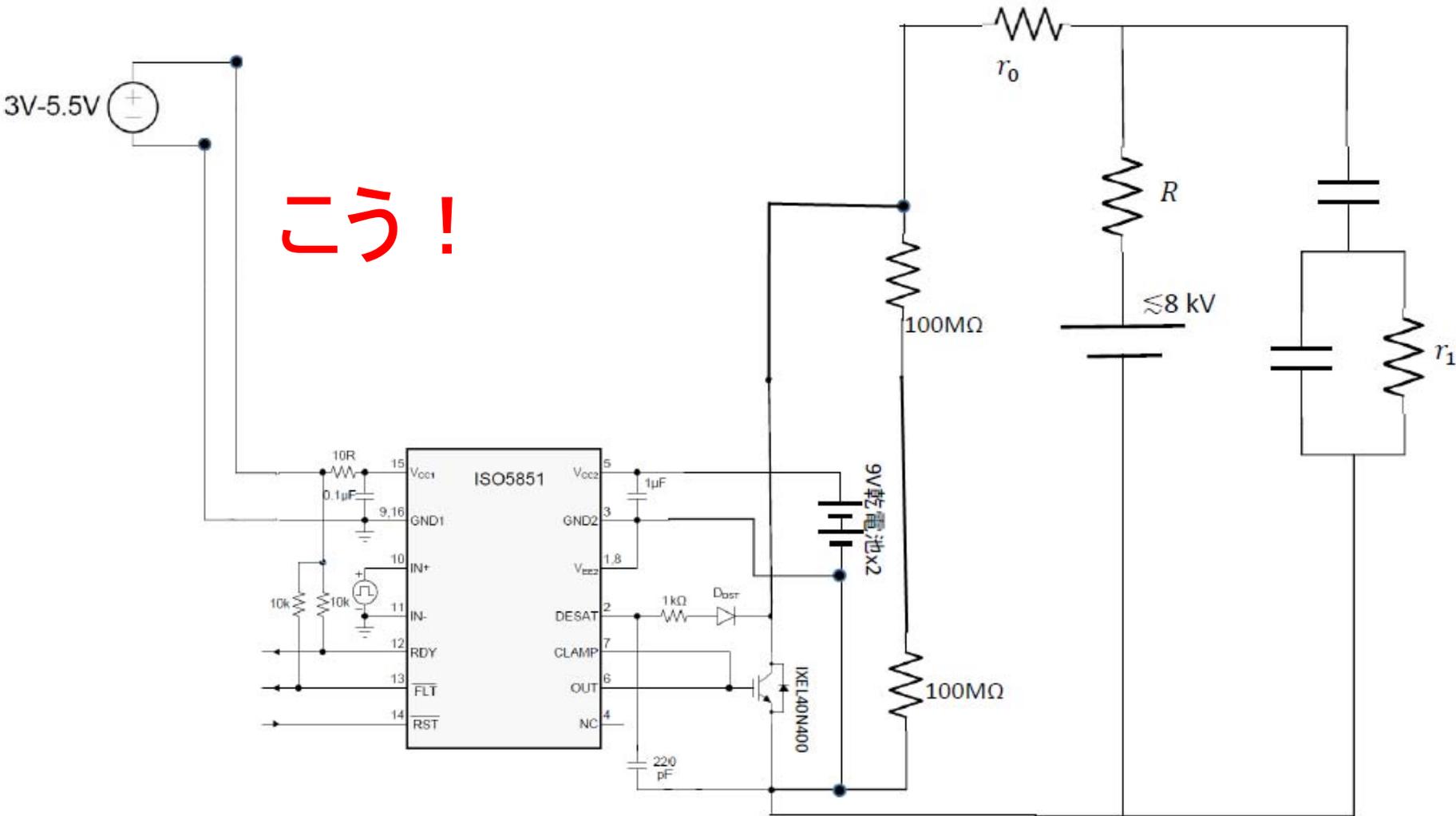
テストの結果...

下段のゲートドライバは
18Vのゲートを出力しており問題なし

上段のゲートドライバは
ゲートを出力していなかった！

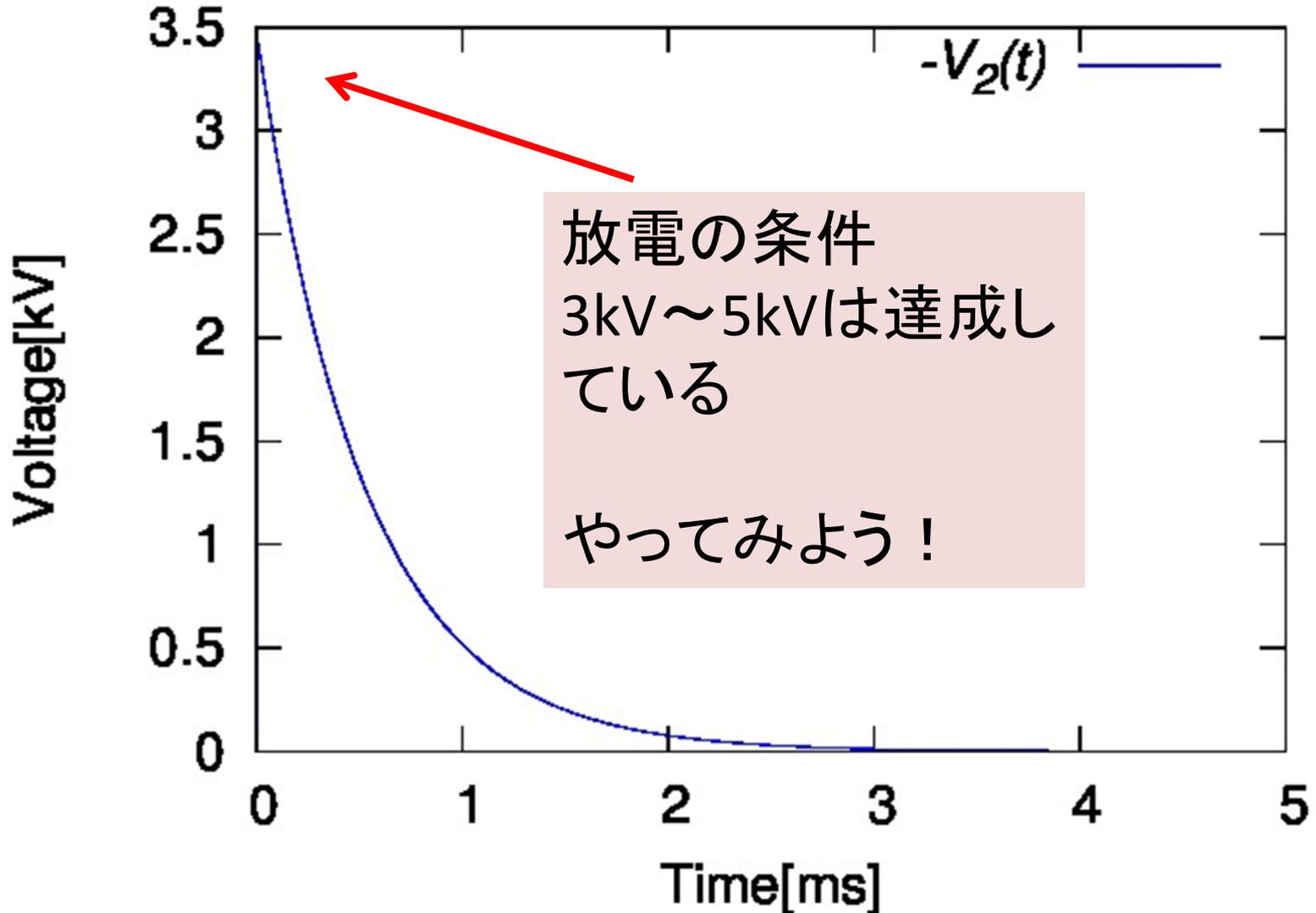
はんだ付けの熱で壊れたのか...？

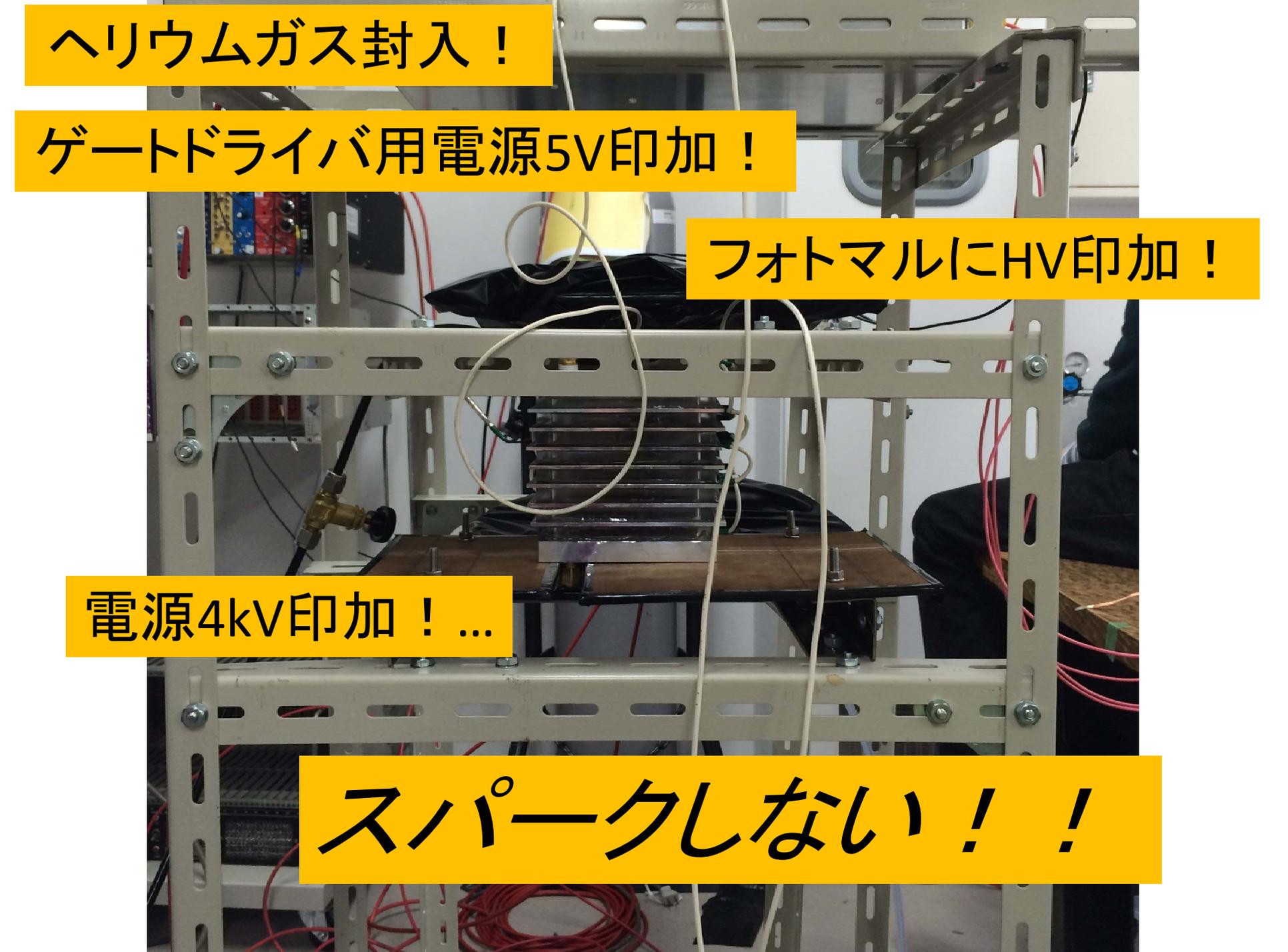
ゲートドライバの予備はもう



動かないゲートドライバを切り捨て、
電源を4kVにして試すことに

変更後の回路で電源を4kVにしたときスパーク チェンバーにかかる電圧のシミュレーション結果





ヘリウムガス封入！

ゲートドライバ用電源5V印加！

フォトマルにHV印加！

電源4kV印加！ ...

スパークしない！！

トリガーとなるコインシデンスモジュール
の出力は出ている...

→放電が起こりにくいのか？

チェンバー内のヘリウムの
気圧を0.5気圧に下げて
再チャレンジ！

スパークがよく見えるよう、
ブラックシートで光を遮って...

再び4kV印加！



スパークした！！

5. 考察

チェンバー内の気圧と放電の関係

0.5気圧での放電観測後、チェンバー内の気圧をさまざまに変えて観測した

(0.25気圧、0.5気圧、0.6気圧、0.8気圧、1気圧)

その結果**いずれの気圧でも放電は観測された**が、気圧の高くなるほど

トリガーがかかっても放電が見えない

割合が増えた

課題

- スパークが全層貫通しない
- トリガーがかかっても放電が見えないことがある
...印加電圧が低いことが理由か？

今後の展望

作製したスパークチェンバーを用いた観測を行いたい

- ・スパークチェンバーに磁場をかけて粒子の電荷を測定し、粒子識別をする

最後に

今回、自分達で作製したスパークチェンバーで不完全ながらも宇宙線の飛跡を見ることができました。

このような成果を得られたのは、市川さんのご指導とTAの中桐さん・平本さんの手助けのお蔭です。

1年間ありがとうございました。

