





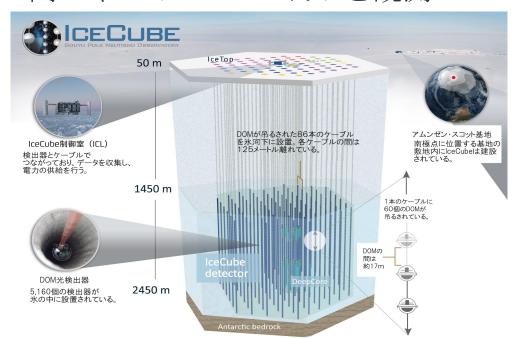
IceCube-Gen2実験の新型光検出器製作と 製作過程に用いられる治具の改良

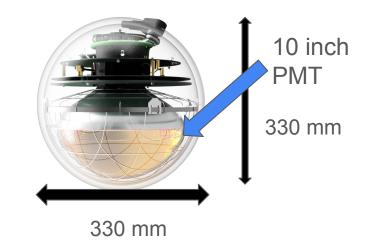
笠井勇次郎

研究発表会 2月21日

IceCube実験

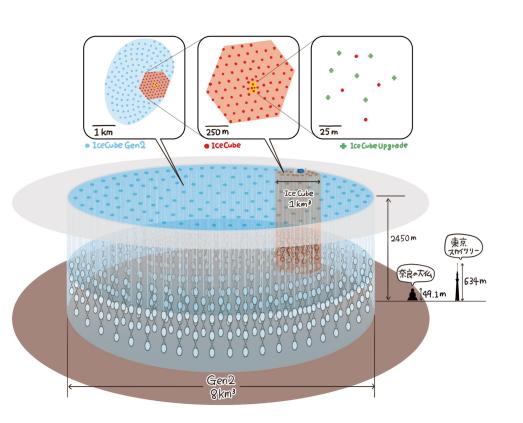
南極点直下の氷中で宇宙から飛来する高エネルギーニュートリノを観測





氷河1kmの範囲に5160個の DOM光検出器を埋設 ニュートリノと氷中の核子の反 応によるチェレンコフ光を観 測

IceCube-Gen2計画



2028年~ IceCube-Gen2建設開始

- ・現在稼働中のIceCubeの約8倍の体積に検出器が埋設される
- ・検出器の水平間隔が従来の約2倍



観測頻度の向上

到来頻度の少ない高エネルギー事象 (TeV以上)が主な対象

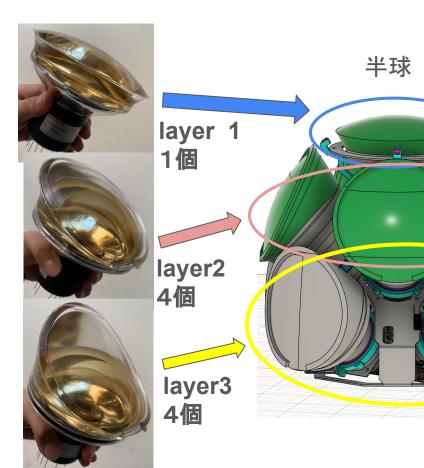
新型光検出器 G2DOM(Gen2-DOM)

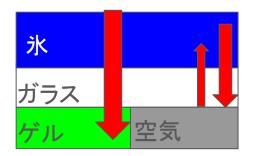


特徴

- ・4inchのPMTを18台搭載
- ・PMT先端に光学シリコーンゲルパッド装着
- ・直径がDOMより小さいため氷河切削 コスト減
- · 低消費電力4W以下
- ・氷中での環境への適応 (70MPa -40℃)

ゲルパッド





- ゲルの屈折率n=1.4
- ・ガラスの屈折率n=1.5
- ・氷の屈折率n=1.3
- 空気の屈折率 n=1
- ゲルパッドの形



効率良く光を集めることが可能 ゲルとガラスの間に空気の層NG

研究目的

IceCube-Gen2実験で使用する光検出器G2D0Mを開発2023年度に最初の本番仕様のG2D0Mを2台製作

本研究

・信頼性の高い検出器を製作

・ゲルパッド製作

- ・ 製作手順の確立
- ・製作手順の効率化、改良

治具の改良

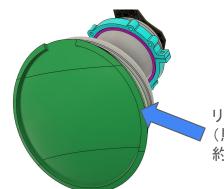
研究の流れ

- 1. G2DOMを製作するために必要なゲルパッドを準備
- 2. G2DOMを製作
- 3. 低温試験による製作手順の変更
- 4. 製作時の問題による治具の改良

製作の流れ

接着の流れ

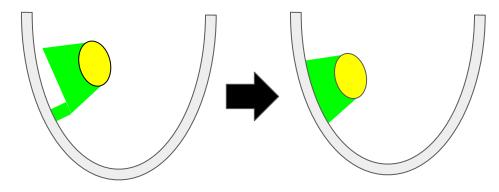
PMTにゲルを成形



リム (馬の蹄のような部分) 約3 mmの盛り上がり

layer2ゲルパッド表面

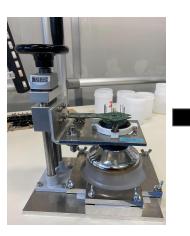
ゲルパッドの 接着位置重要



- ・リムにゲルを 塗 り込み接着
- ・脱泡して1日 放置してリム を固める

- 壁を使って中 にゲルを流し 込む
- 再度脱泡して 1日放置

ゲルパッド製作

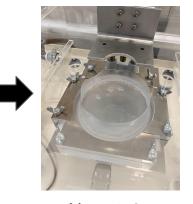


治具にPMTを 固定





シリコンゲルを2種類混ぜる



型に入れて脱泡



9時間乾燥



ゲルパッド完成

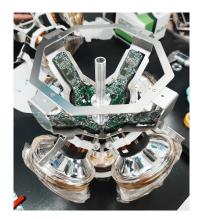
要求

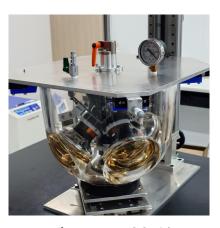
ゲルの透明度 ゲル内の泡を無く す

1回目PMTなしで2時間脱泡 2回目PMT挿入して1時間脱泡 ゲル内の泡がなくなるまで

G2DOM製作 (半球製作1台目)







ガラスに接着

ガラス球準備

ガラス球の中心位置を調節

layer1.2合体

- -PMTホルダーを装着
- ・フレームに固定
- •layer2のバネを調節

-ゲルパッドのリムから 順 番に接着

•1時間脱泡1日放置

G2DOM製作 (半球製作1台目)



layer2 同じ流れ













半球完成!



窒素置換を行 いながら気圧差 で閉じる

低温試験 ゲルパッドの剥離







1台目製作時

・半球同士を閉じたあと検査のため-40℃の 冷凍庫に入れたら剥離が発生

原因

- ・ゲルパッドが完全に固まっていない状 況で次の作業で減圧脱泡してしまった
- ・その結果ゲルパッド表面に空気が残っ た状態を作り出してしまった

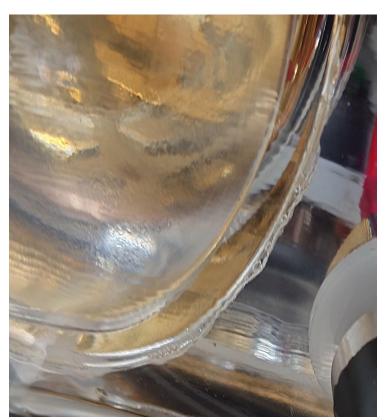
対策(2台目製作に行こなったこと)

- ・減圧脱泡後の時間を十分にとる
- ・ヒーターで温めゲルを完全に固める (ゲルの熱硬化性)

※layer2リムの接着時の写真

製作中の問題 ガラス球への接触不安定

理想的な接触



接触悪い時



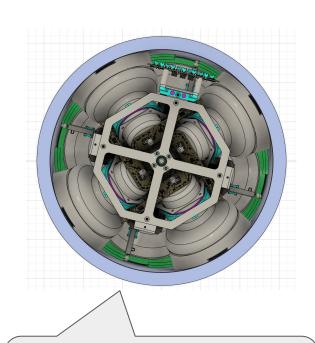
製作中の問題 ガラス球への接触不安定

状況

- ・同じlayer内に接着がうまくいってるものといっていないものがある
- •PMTの位置調節のためのバネは各layerごと同じ長さに している
- ・ガラス球の中心位置も調節を2度行うため中心のずれ は 限りなく小さい

製作中の問題

ガラス球への接触不安定



ガラス球内部は検出効率を上げるために密な構造



- ・ガラス球の曲率
- ・曲率を考慮した ゲルパッドの形



1~2 mm精度の 調節

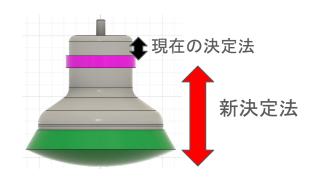
製作中の問題 ガラス球への接触不安定

原因

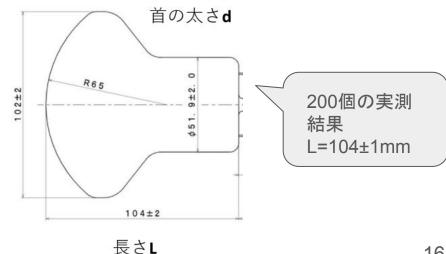
- ・ゲルパッドとPMTの**個体差**
- PMTホルダーの位置決め
- ガラス球とゲルパッドの距離を決 めているのはPMTホルダー

対策

・治具の改良によりゲルパッド表面 からの距離でPMTホルダーの位置を 決める

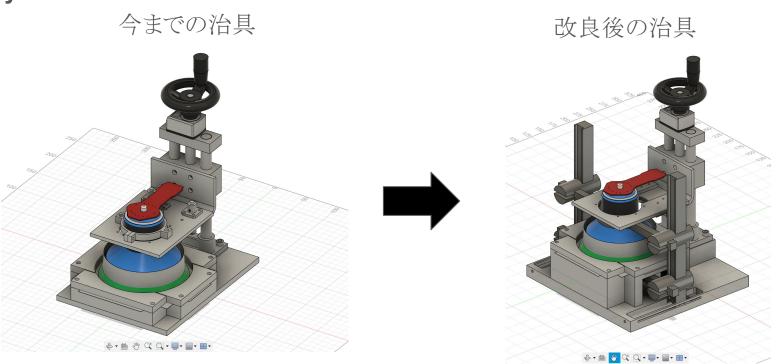


4inch PMT



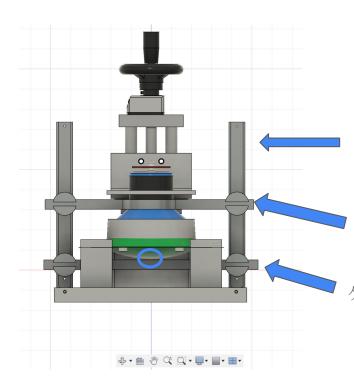
治具改良

改良案 layer1



治具改良

仕組み



測り付きの支柱 (前後移動可能)

テープを貼る位置のバー (上下移動可能)

(上下移動可能)

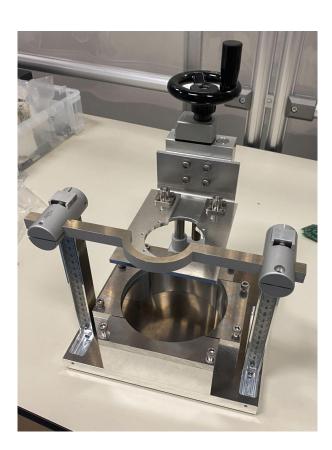
ゲルパッド完成後から

- ①下のバーを調節してゲル パッド先端で固定(型の上 から)
- ②上のバーを決まった長さ で固定する
- ③支柱を動かしてPMTの首 に上のバーをあててライ ンを引く

ゲルパッドの先端を定めるバー④治具から取り外した後 PMTホルダーを装着

治具改良

実物



まとめ

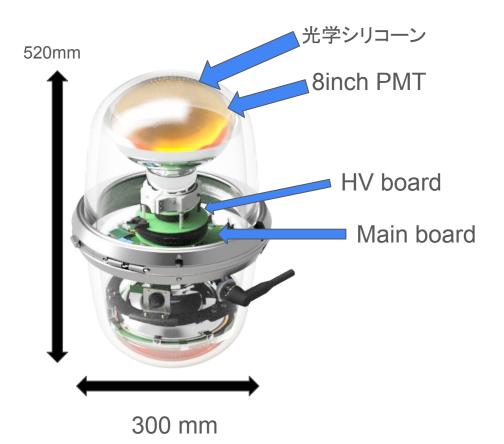
- ・IceCube-Gen2実験に向けた検出器2つ製作
- ・ 製作手順の変更
- ・製作手順改善のための治具を改良

展望

- ・対策によって効果があるか確認
- ・layer2,3用の治具のデザイン
- ・2024年度にG2D0Mを10台製作

back up

D-Egg光検出器



- IceCube-Upgrade計画 で使用
- ・8inch PMTが上下に2 個搭載
- ・DOMに比べて直径が小 さい

ゲルパッドの治具の位置調節

治具に型とPMTを固定



薄いアルミ板でPMTの型への当 たり具合を調節



厚さ 0.2mm

各layerごと決まった 高さ上げる

layer	上げる 高さ(mm)
1	3.3
2	2.9
3	2.5

PMTが型に当たるま で下げる



ゲルパッドの型

layer1





layer2



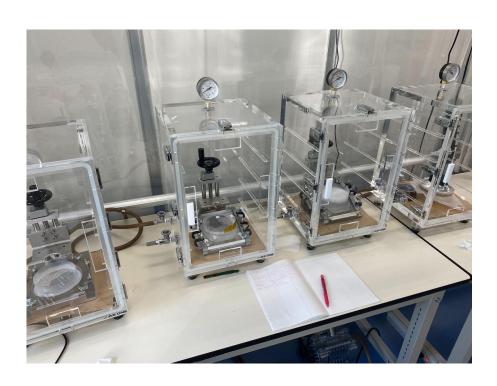


layer3



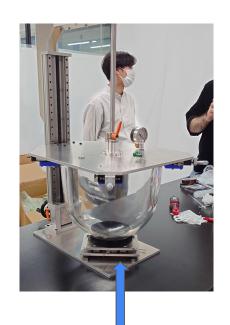


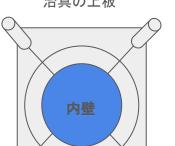
脱泡の様子



・現在は4つの真空チャンバーが あり、4個のゲルパッドを同時 進行で進められる

ガラス球の中心位置調節





下から見た治具の上板

ステップ1:上板の四つ角にある調節ネジを緩める

ステップ2:対角で一つの軸なので軸ごと調節(内壁を使って中点

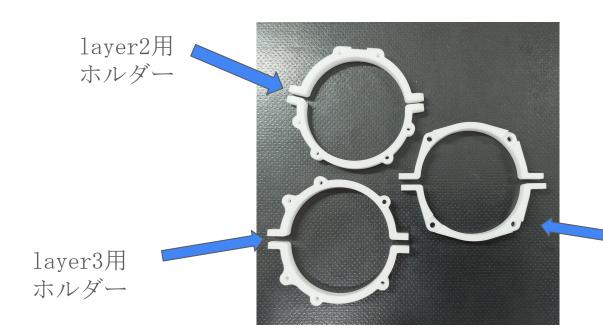
を確認)

ステップ3:もう一度同じ手順を行う

土台はxy軸移動可能

PMTホルダー

滑り止めシート





layer1用ホルダー

ゲル準備





- ①A剤とB剤を5:6で必要量混ぜる
- ②攪拌脱泡機で均等に混ぜる
- ③混ぜたものを約0.1barで真空チャンバーで脱泡
- ④シリンジで必要量汲み取り約0.3barで脱泡

窒素置換



- ①ガラス球を真空チャンバーに入れ、赤道面にベロを1~2mm挟む
- ②空気を抜き(約0.5bar)、窒素を入れる 各5回行う
- ③最後に約0.5barに気圧を保ったまま挟んだベロを抜く