

Belle II (ベル II) TOP検出器の建設

～ ストロングバック および インストールジグについて ～
～Module support and installation jigs～



全学技術センター 工学系技術支援室 装置開発系
立花健二

報告内容

1、インストールジグ

- 1) 事前見学、仕様と構造決定
- 2) 製作過程
- 3) 信頼性向上: Z軸ナット変更、キーの取付け
- 4) 安全対策: チェーンカバー、錘の取手
- 5) 位置決め: デジタルカウンタ
- 6) 使い易く: 同期装置、モータードライブ
θ回転固定装置と微動回転装置

2、ストロングバック

形状の検討

歪対策: デブコン平坦化

剛性向上: エクステンションの設計

報告内容

1、インストールジグ

1) 事前見学、仕様と構造決定

2) 製作過程

3) 信頼性向上: Z軸ナット変更、キーの取付け

4) 安全対策: チェーンカバー、錘の取手

5) 位置決め: デジタルカウンタ

6) 使い易く: 同期装置、モータードライブ

θ回転固定装置と微動回転装置

2、ストロングバック

形状の検討

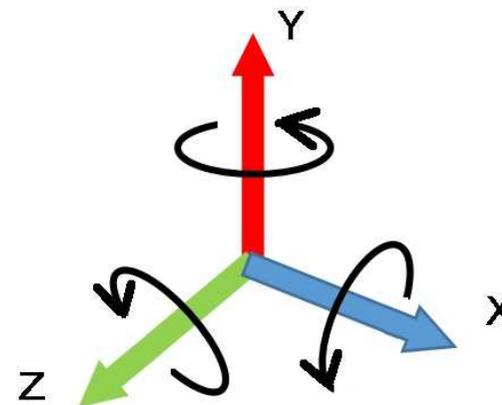
歪対策: デブコン平坦化

剛性向上: エクステンションの設計

1、インストールジグ 仕様と構造決定

仕様

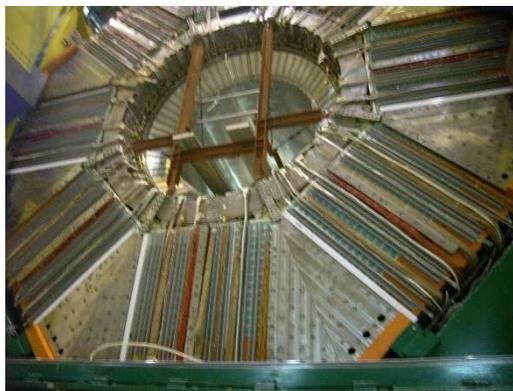
- どのような位置や角度にでも、ストロングバックを動かせること(6自由度)



- 設置場所は地上高5m程度
(TOPカウンタの運搬は天井クレーンを使用)
 - 荷重(TOPカウンタ)は100kg程度。
-

実機見学(KEK@つくば 2012.7)

インストールジグの設計製作を前に、実験装置を見学した。



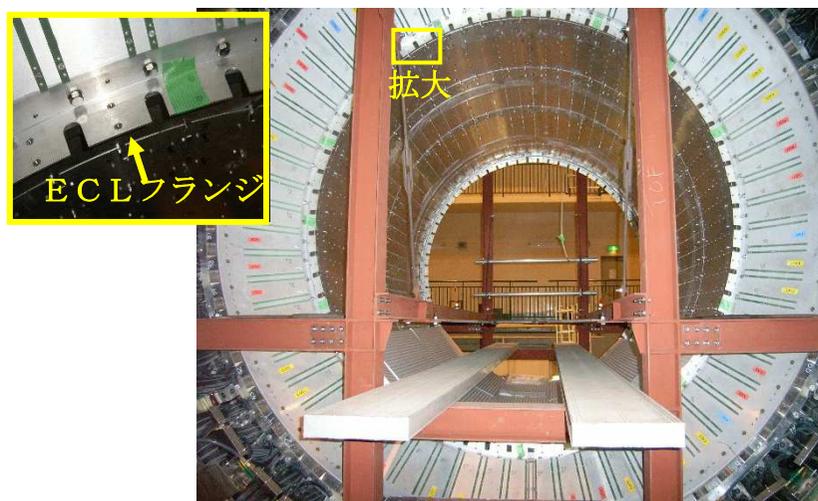
TOPカウンターの取付け場所は
4. 5～7mの高さである。



測定器円筒部の様子
直径は2. 5mの円筒形状をしている。



巨大な装置を見上げながら歩く



TOPカウンター取付金具(ECLフランジ)は
円筒開口部に付いている。

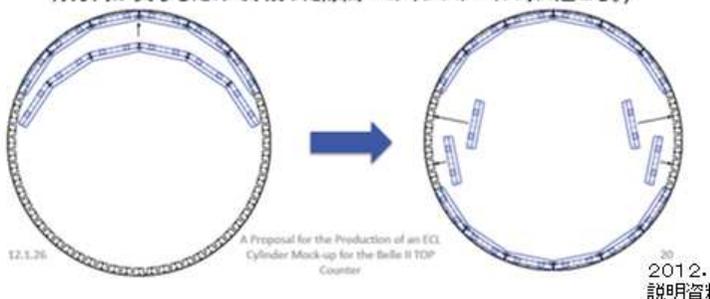
見学の後、インストール方法について
意見交換を行なった。
また、高力さんを交えて、居酒屋で交流
した。

インストールジグ 仕様と構造決定 様々な方式

6モジュール一括インストール方式

Installation scheme (1)

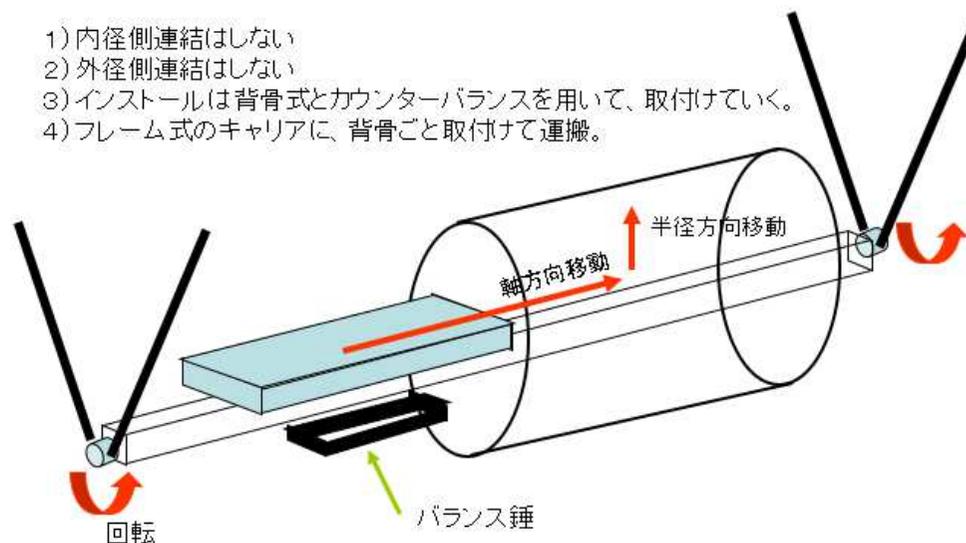
- 6モジュールx2の外径側連結を検討中。
- 6モジュールを治具上で組み立て、内径側・外径側ともに連結し、低剛性の水平配置になる上・下部にインストール。
- 残りの4モジュールは、高剛性の鉛直配置になる左・右部にインストールされるため、1台ずつインストールして、内径側のみ連結。
- ✓外径側を2台ずつ連結すると、連結されたモジュールはインストールできなくなってしまう。
- ✓これは、連結された複数のモジュールがインストールされる際の各モジュールの進行方向と、1台ずつインストールする際のモジュールの進行方向が異なるため、残った隙間へのインストール時に起こる。



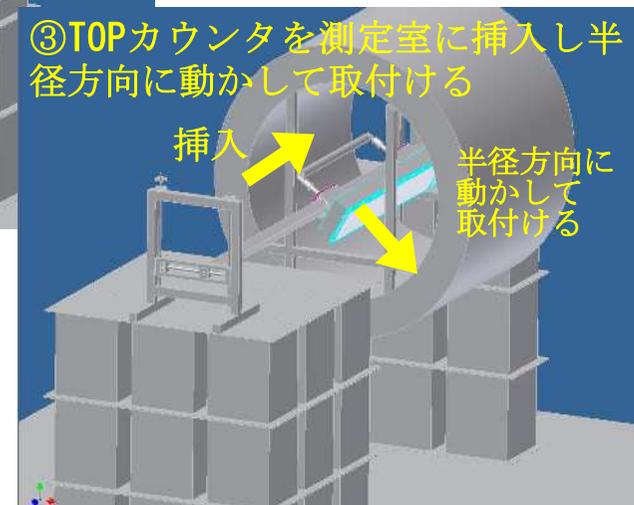
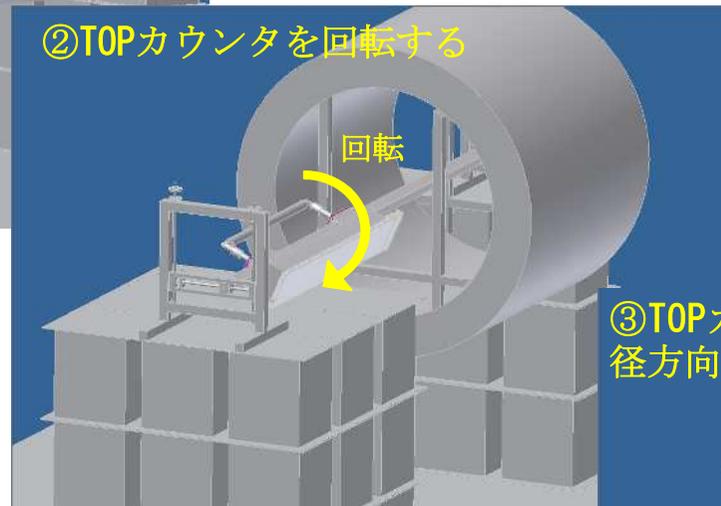
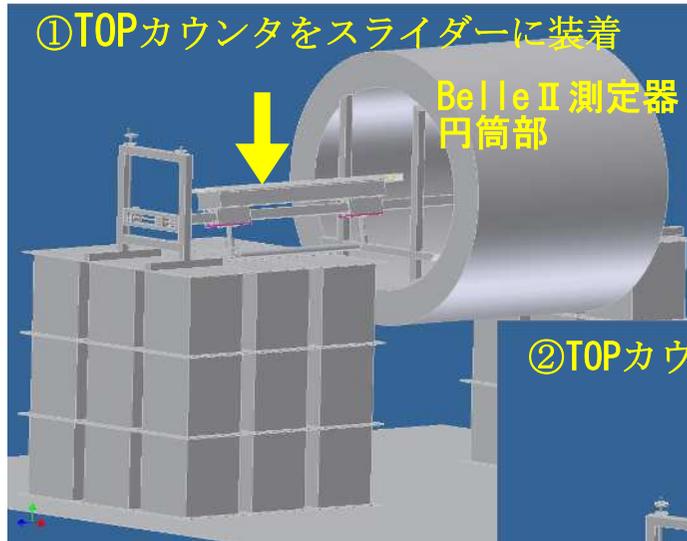
6.1 Babar類似方式

大きな方向性

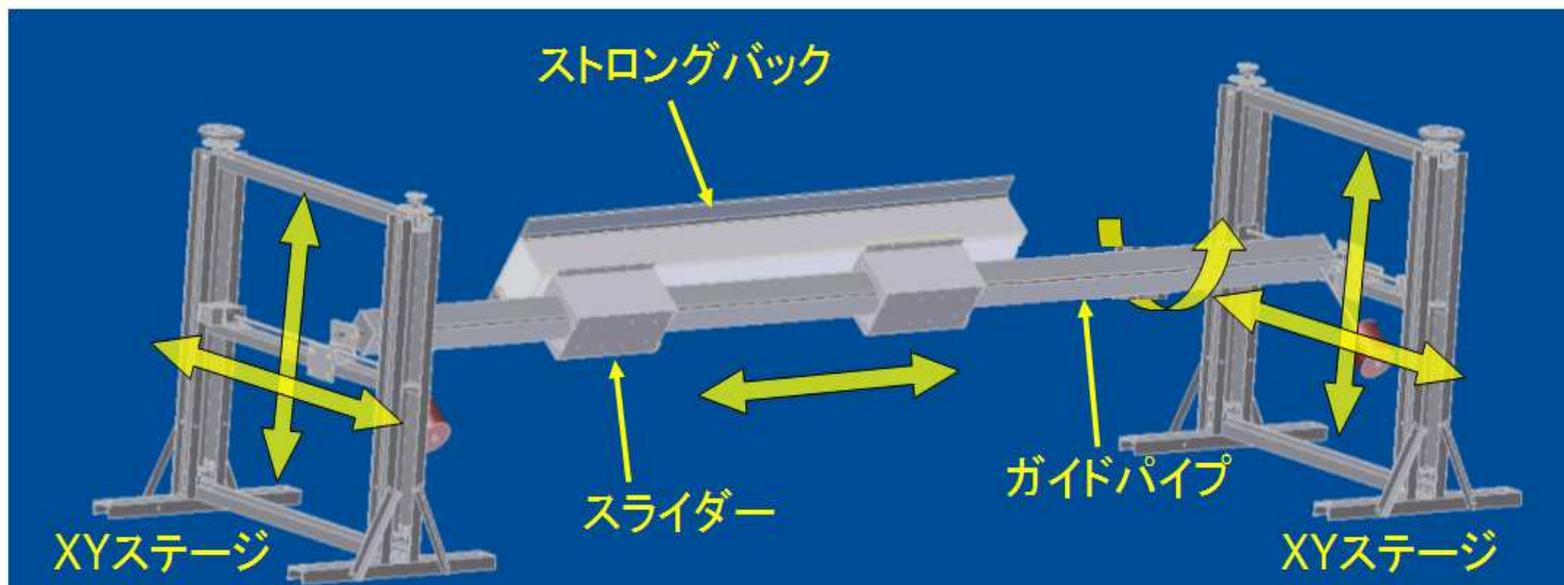
- 1) 内径側連結はしない
- 2) 外径側連結はしない
- 3) インストールは背骨式とカウンターバランスを用いて、取付けていく。
- 4) フレーム式のキャリアに、背骨ごと取付けて運搬。



インストールジグ 基本構想



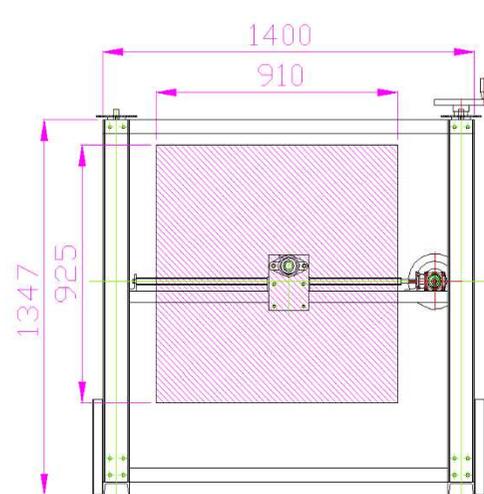
TOPカウンターの取付け場所



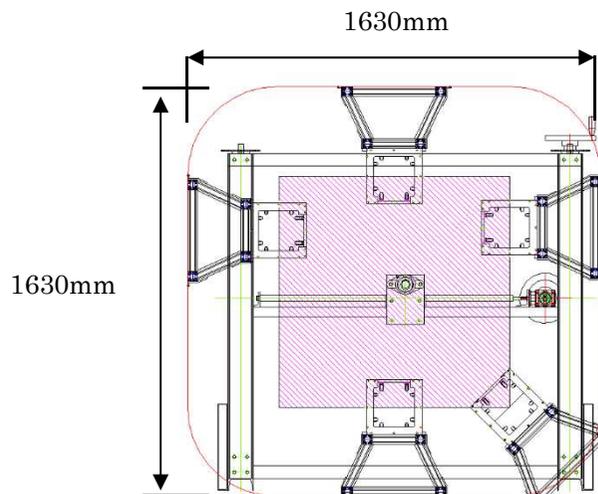
インストールジグの基本設計図(3Dモデル)

インストールジグ XYステージの設計

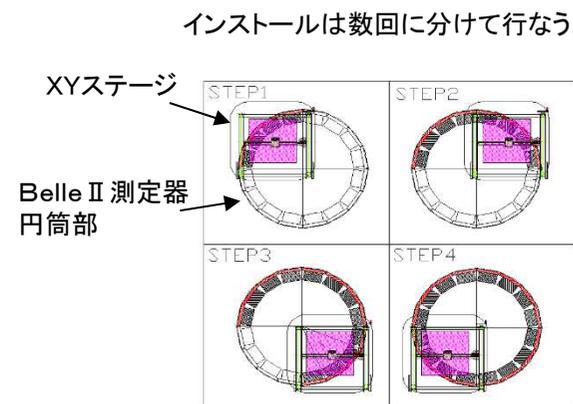
製作の容易さ、インストールジグの運搬方法(名大→KEK)、エレベータの荷室の寸法制限などから、XYステージの寸法を決定した。



XYステージの可動範囲



インストール範囲

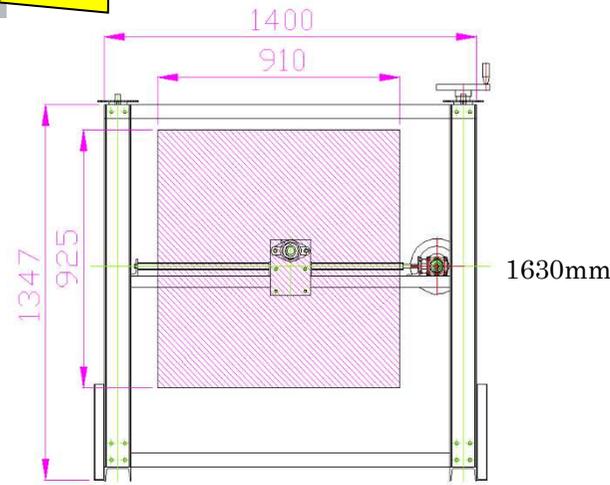
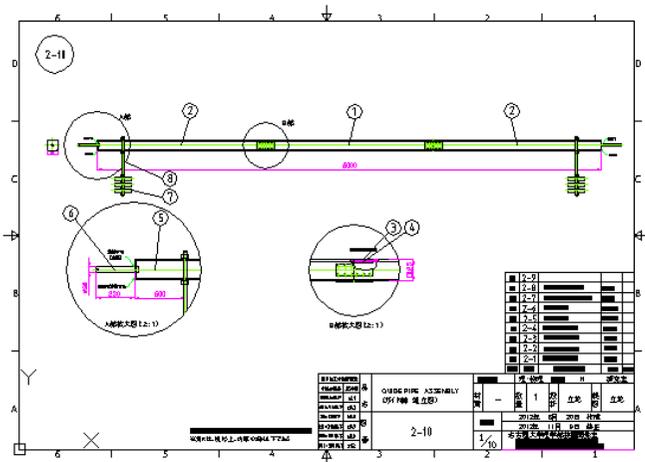
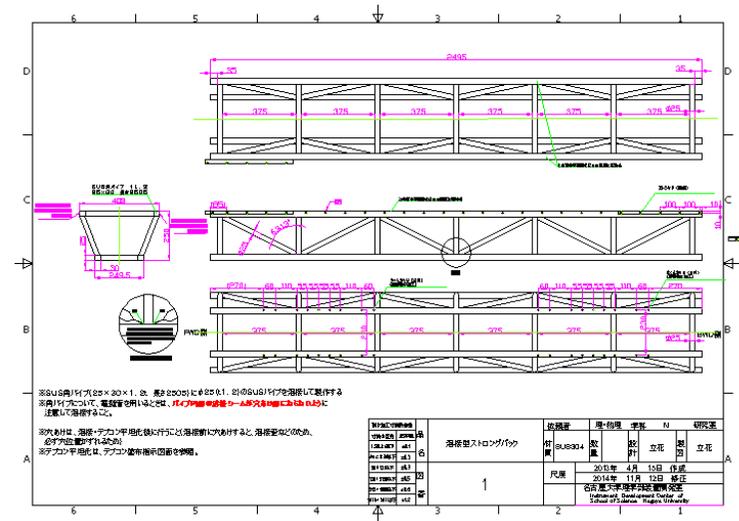
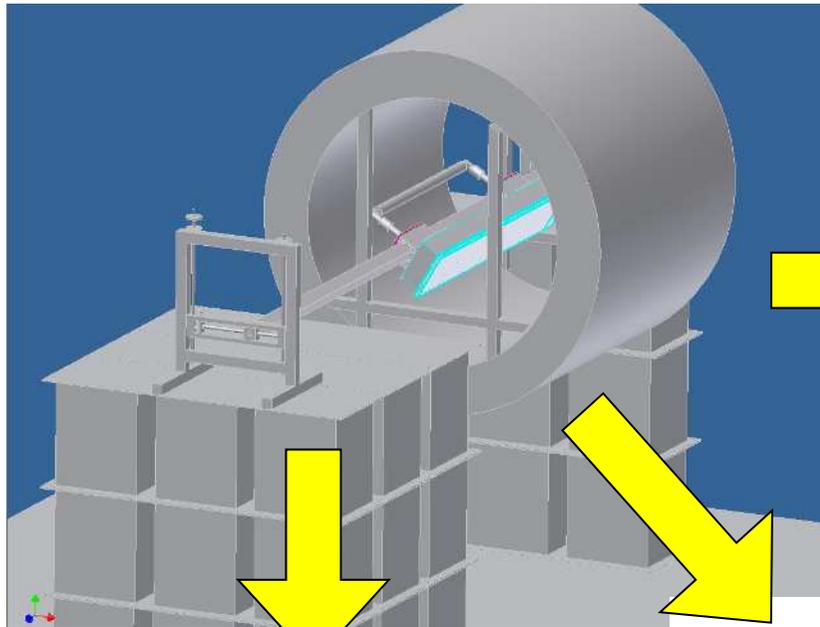


インストール
(4ステップ方式)

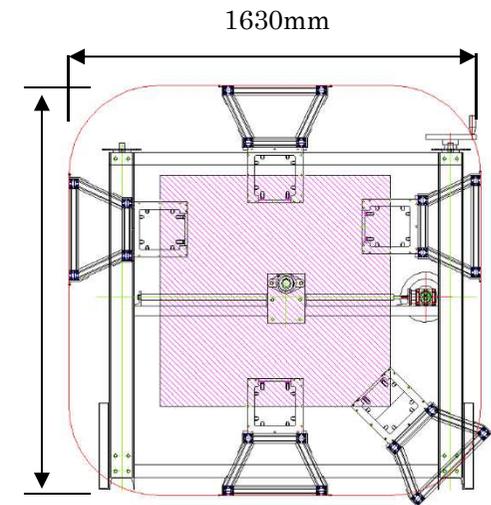
主な仕様

- ・可動範囲 (X, Y) = (910mm, 925mm)
- ・荷重は200kg程度
- ・X方向、Y方向の駆動には、ステンレス製の寸切りネジ(M27, M24)を使用
- ・手動式
- ・ダイヤルインジケータ等を使用して、位置の直読が可能

インストールジグ 基本構想から製作図面を作成



XYステージ



インストール範囲

報告内容

1、インストールジグ

1) 事前見学、仕様と構造決定

2) 製作過程

3) 信頼性向上: Z軸ナット変更、キーの取付け

4) 安全対策: チェーンカバー、錘の取手

5) 位置決め: デジタルカウンタ

6) 使い易く: 同期装置、モータードライブ

θ回転固定装置と微動回転装置

2、ストロングバック

形状の検討

歪対策: デブコン平坦化

剛性向上: エクステンションの設計

インストールジグ XYステージの製作

作業は装置開発室メンバーで手分けをして行なった。



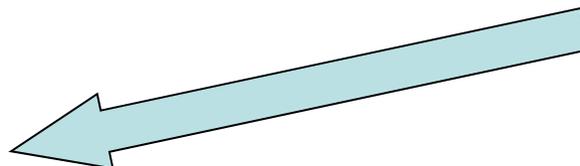
納品された材料（主に鉄骨材）



ハンドグラインダーでバリ取り



ケガキ



送りネジ旋盤加工



穴あけ



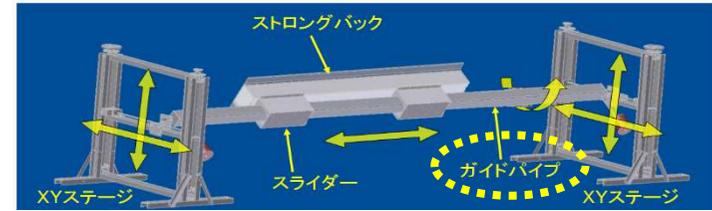
機械加工の終わった材料の塗装作業



仮組み中のXYステージ

ガイドパイプの製作

全長6mのガイドパイプは、輸送や取扱いを考え、分割式とした。



インストールジグ



ガイドパイプの接続部
(ガセットプレートを用いて接続)



橋の鉄骨の接続部を
参考にした



ダミーウエイト
(質量 1枚12kg)



穴あけ



ガイドパイプ末端 (溶接)



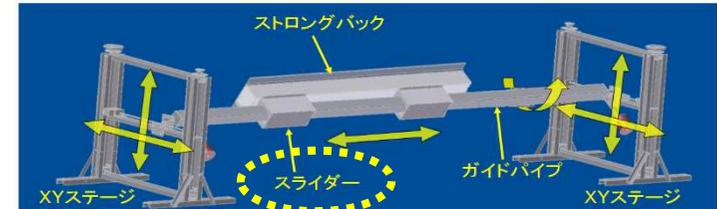
2本のパイプを連結



ダミーウエイトを
取付けた状態

スライダの製作

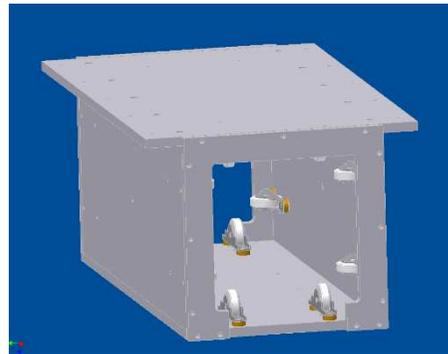
全長6mのガイドパイプに沿ってスライダが前後に動く。スライダは2台製作した。



インストールジグ



材料 (10mm厚アルミ板)



1台のスライダには16個の戸車を使用されている



完成したスライダ



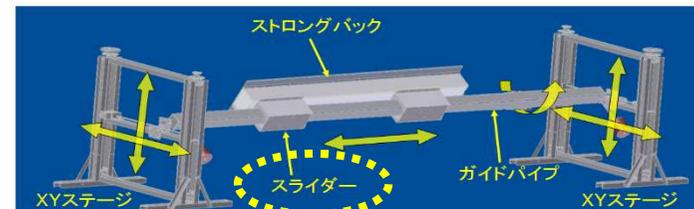
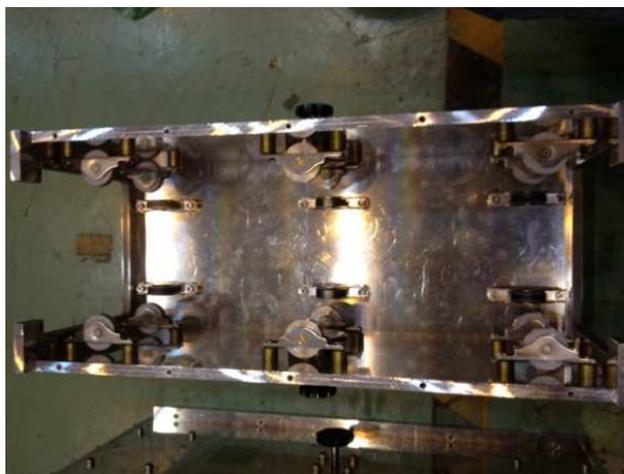
ガイドパイプ上のスライダ

汎用品の戸車を活用し、コストを押さえたスライダを製作できた。

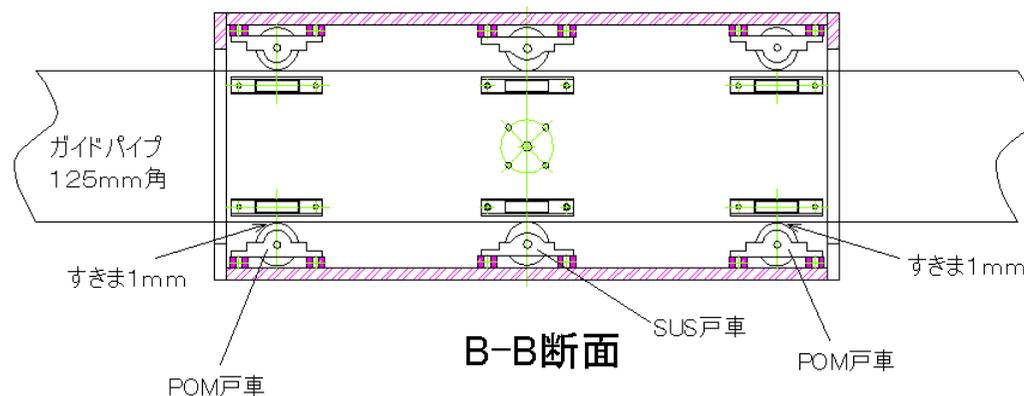


スライダの製作

スライダの内部構造



インストールジグ



スライダの断面図

スライダは2台使用。スライダの中央部の戸車だけがガイドパイプに接触。ストロングバックを2点支持させる。

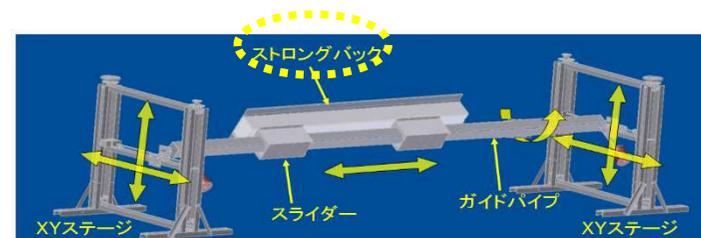
スライダーの製作



インストールジグとTOPカウンタ(ストロングバック)を切り離す時の衝撃防止用にL金具を取付け

ストロングバックの製作(アルミフレーム型)

TOPカウンター単体では剛性が不足しているため補強ジグを製作
(市販のアルミフレームを組み合わせて製作)



インストールジグ



ストロングバックの組立作業



市販アルミフレームと内製した
接続金具を使用



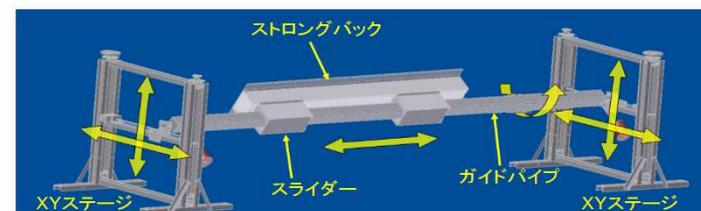
ストロングバックの組立作業



組立が終了したストロングバック

ダミーのTOPカウンターの製作

TOPカウンターの実機は非常に高価なため、インストールの練習で使用するダミーのTOPカウンターを製作した。



インストールジグ

ポイント

- 1) TOPカウンターインストールの練習が出来るように、取付けネジなどは実機と同じ仕様
- 2) 重さは実機と合わせる
- 3) たわみを実機と合わせる
- 4) 安く出来る事
- 5) 運搬のため、分割できること



ダミーのTOPカウンター



TOPカウンター実機 (参考)

インストールジグ 仮組み

製作したXYステージ2台、ガイドパイプ、スライダー2台、ストロングバックダミーのTOPカウンターの仮組みを装置開発室の工場内で行なった。



クレーンを使って仮組み作業



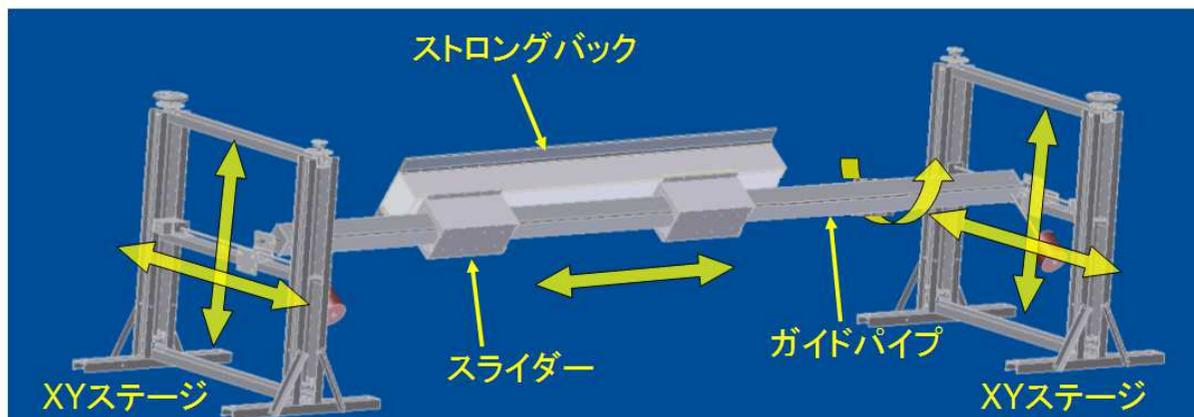
下から見上げた様子
跨座式モノレールのような外観である



バランスウエイトの調整

仮組みの結果、大きな問題が無い事が確認されたので、TOPカウンターインストールの練習を行なうため、装置全部をプロジェクト室に移動した。

完成したインストールジグ・・・プロジェクト室(B館4F)で動作テストを実施



※パノラマ撮影のため、曲がって見えます

大きな部屋(プロジェクト室)があったので、非常に助かりました。

報告内容

1、インストールジグ

1) 事前見学、仕様と構造決定

2) 製作過程

3) 信頼性向上: Z軸ナット変更、キーの取付け

4) 安全対策: チェーンカバー、錘の取手

5) 位置決め: デジタルカウンタ

6) 使い易く: 同期装置、モータードライブ

θ回転固定装置と微動回転装置

2、ストロングバック

形状の検討

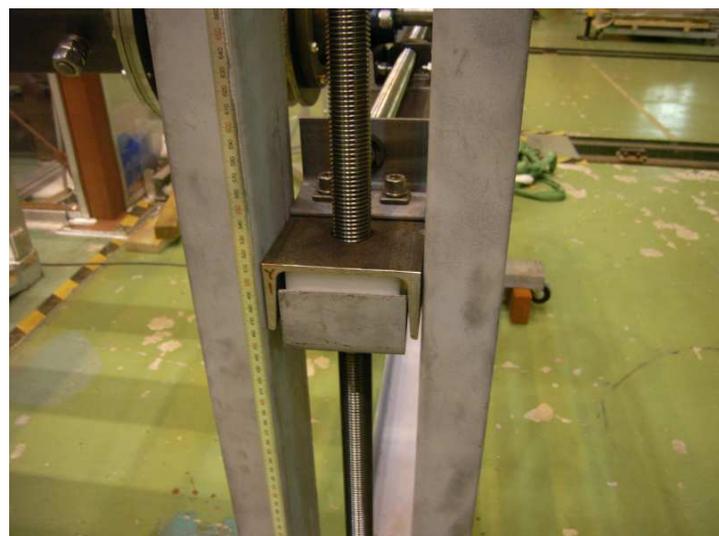
歪対策: デブコン平坦化

剛性向上: エクステンションの設計

信頼性向上 XYステージ X軸改良 かじり防止

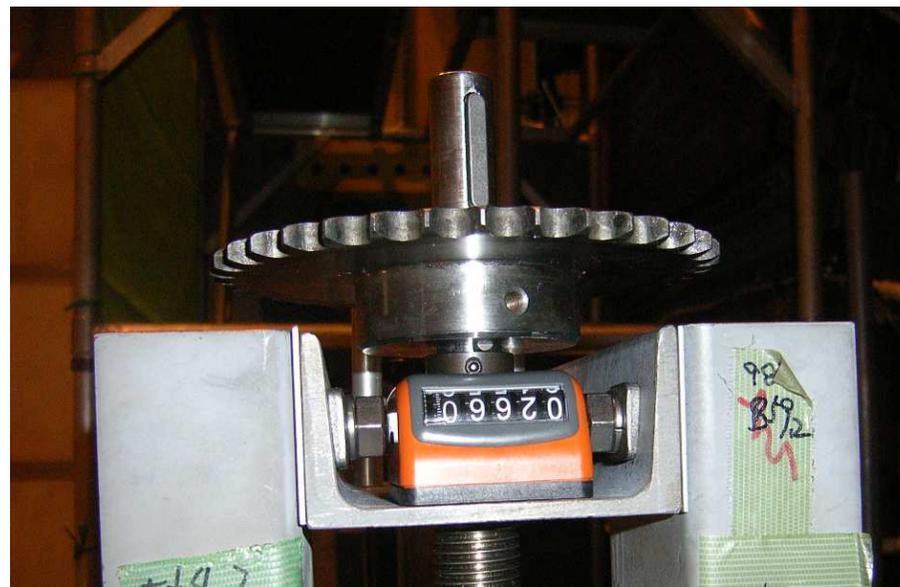


ステンレスナットとステンレスねじ
の組合わせでかじり発生
(設計ミス)



ステンレスナットをジュラコン(プラスチック)
製ナットに変更

信頼性向上 XYステージ 空転防止のキーの取付け



当初はセットビス(イモネジ)で押さえる形式
→沈めキーで緩みの心配が無くなった。

報告内容

1、インストールジグ

- 1) 事前見学、仕様と構造決定
- 2) 大急ぎで手分けして製作
- 3) 信頼性向上: Z軸ナット変更、キーの取付け
- 4) 安全対策: チェーンカバー、錘の取手**
- 5) 位置決め: デジタルカウンタ
- 6) 使い易く: 同期装置、モータードライブ
θ回転固定装置と微動回転装置

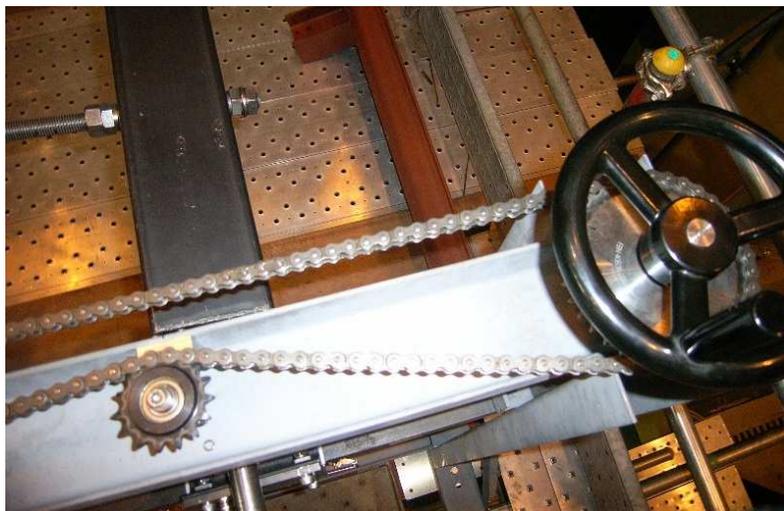
2、ストロングバック

形状の検討

歪対策: デブコン平坦化

剛性向上: エクステンションの設計

XYステージ 安全対策1 チェーンカバー



取り外しが容易な形状
ちょうど良い形状の市販品はない

XYステージ 安全対策2 バランス錘の取手



ダミーウェイト
(質量 1枚12kg)



取手を取り付け
落下事故防止

報告内容

1、インストールジグ

- 1) 仕様と構造決定
- 2) 大急ぎで手分けして製作
- 3) 信頼性向上: Z軸ナット変更、キーの取付け
- 4) 安全対策: チェーンカバー、錘の取手
- 5) 位置決め: デジタルカウンタ
- 6) 使い易く: XY同期装置、モータードライブ
θ回転固定装置と微動回転装置

2、ストロングバック

形状の検討

歪対策: デブコン平坦化

剛性向上: エクステンションの設計

XYステージ デジタルカウンターの取り付け

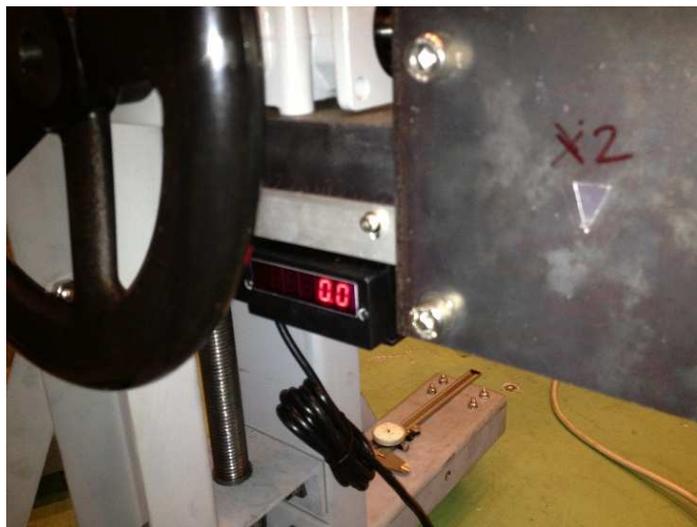


Y軸には最初からカウンタを装備
(電源が不要なタイプ)

X軸に取り付け可能なカウンタ(電源不要)
が市販品にないこと、バックラッシュのため
X軸の回転数がX座標と一致しないので
カウンタは取付けせず、スケールを取付け
目盛りを読んでいた。

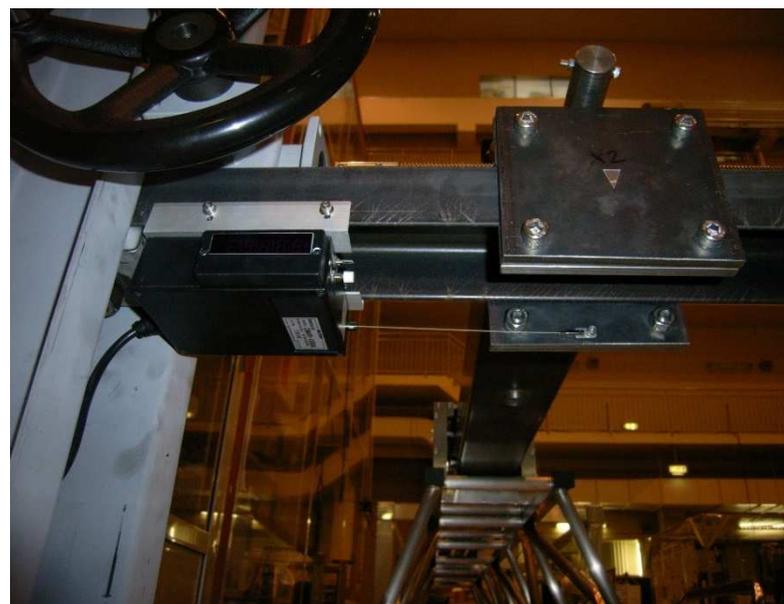


XYステージ デジタルカウンターの取り付け



形式:MUTOH DMR-100A
(表示分解能 0.1mm)

インストールプラクティスの結果
X軸の正確な位置を知る必要
があることが判明
デジタルカウンタを追加装備した



ワイヤーの繰り出し長さで距離を測定

報告内容

1、インストールジグ

- 1) 仕様と構造決定
- 2) 大急ぎで手分けして製作
- 3) 信頼性向上: Z軸ナット変更、キーの取付け
- 4) 安全対策: チェーンカバー、錘の取手
- 5) 位置決め: デジタルカウンタ
- 6) 使い易く: θ 回転固定装置と微動回転装置
XY同期装置、モータードライブ

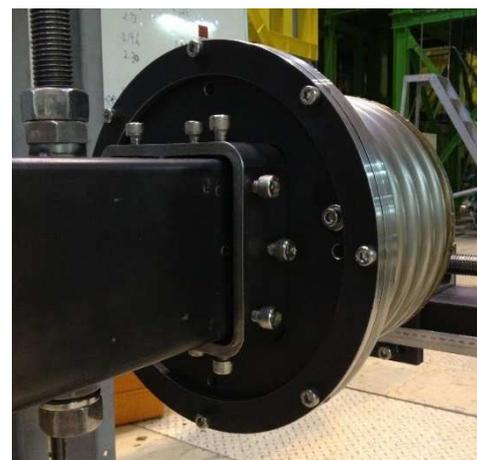
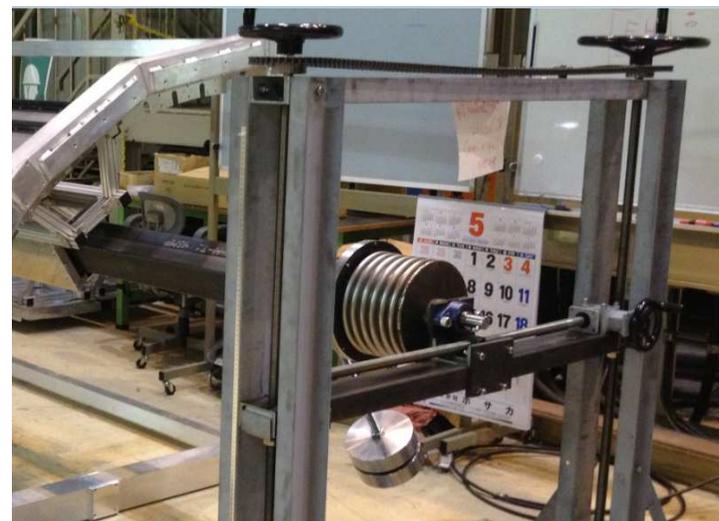
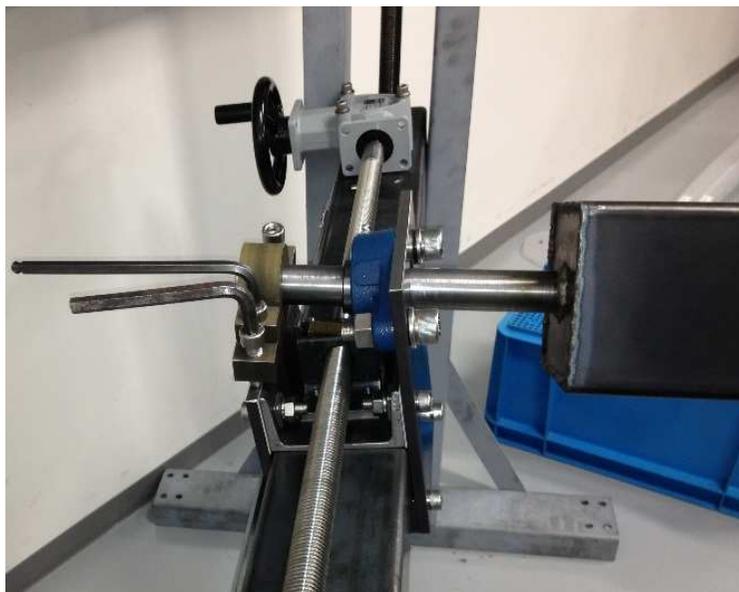
2、ストロングバック

形状の検討

歪対策: デブコン平坦化

剛性向上: エクステンションの設計

XYステージ 回転ストッパー



初期のタイプ、使いにくいものであった。

水道用のベローズを購入し加工した。
水道用なので非常に価格が安い
(8000円/m程度)。

XYステージ 角度微調整機構



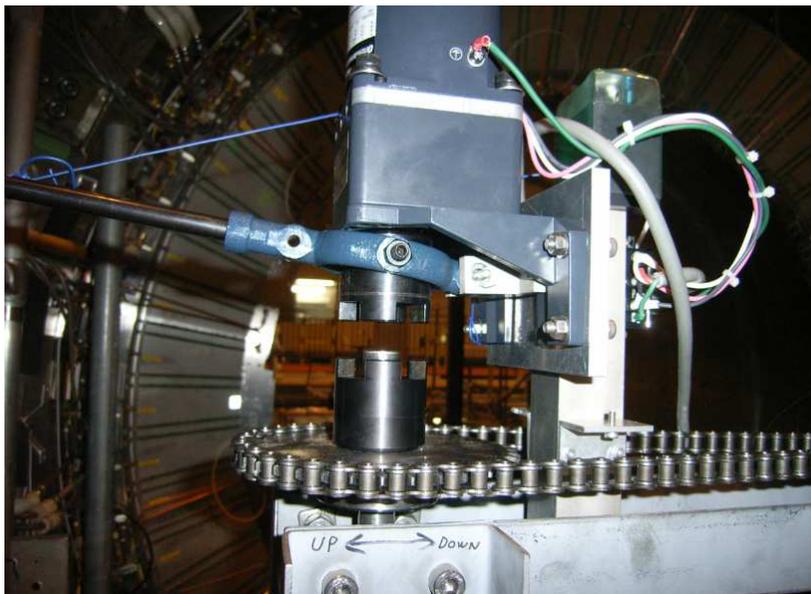
回転微動装置を取り付け
(タンジェントスクリュウタイプ)
±10° 程度 微動可能

XYステージ モータードライブ

当初は誤作動や事故の原因になるという事で、手動にこだわる

問題点： Z軸操作は重労働である、人力操作ではジグ全体が揺れる

→ Z軸のモータードライブを取付け



機械式のクラッチを取付け、手動時にモーターを切り離し、操作を軽くする。誤操作を防ぐ意味もある。

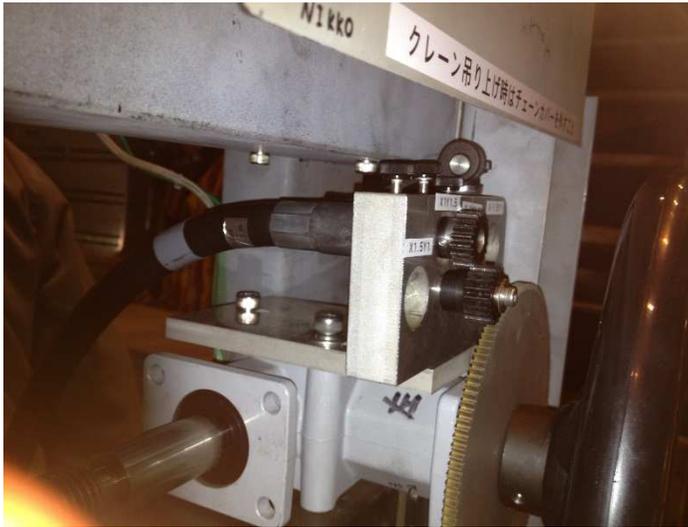


EMO(非常停止)スイッチ付きのリモコン



オーバートラベル防止のリミッター付き

XYステージ XY軸 同期装置



動力はY軸(上下動)
から取り出し

歯車で減速(増速)し
X軸を駆動。



XY軸同期装置もテスト的に取付け

■ インストールジグ まとめ

- ・ 装置開発メンバーでKEKを訪問、Belle測定器の現場を確認
 - ★ **問題意識の共有化**
- ・ 急いでXYステージなどのジグを製作
装置開発メンバーで作業を分担して効率的に加工組立を実施
 - ★ 普段から培っている**チームワーク**が発揮
- ・ 図面があれば、仕事を分担可能
 - ★ **図面**はあまり人に見せたくない、では済まない
- ・ 細かい設計変更にも柔軟に対応
 - ★ 大学に存在する**技術組織**の強み
- ・ 全体のスケジュールが遅れたため、様々な改良を行えた

報告内容

1、インストールジグ

- 1) 仕様と構造決定
- 2) 大急ぎで手分けして製作
- 3) 信頼性向上: Z軸ナット変更、キーの取付け
- 4) 安全対策: チェーンカバー、錘の取手
- 5) 位置決め: デジタルカウンタ
- 6) 使い易く: XY同期装置、モータードライブ
θ回転固定装置と微動回転装置

2、ストロングバック

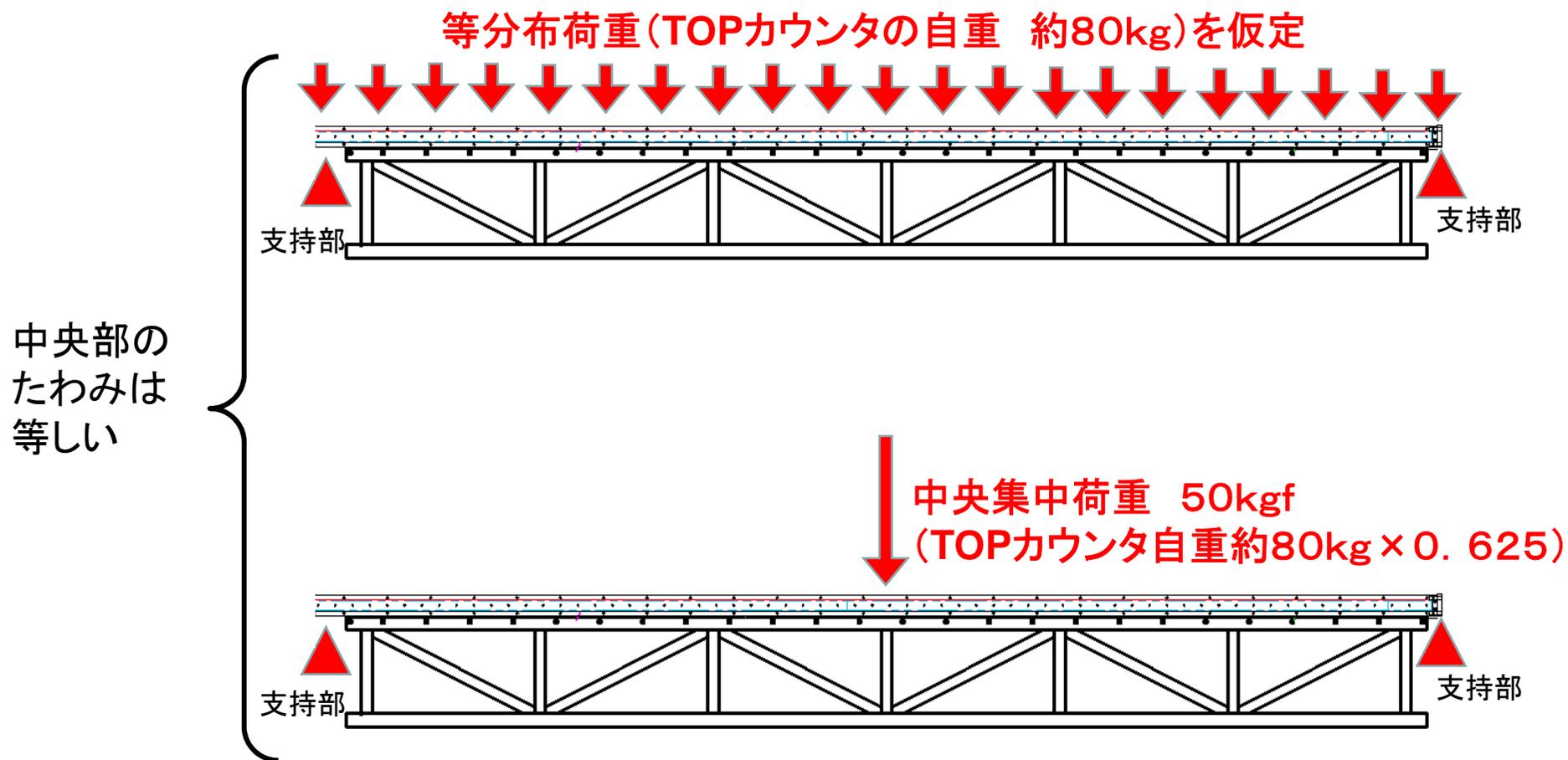
形状の検討

歪対策: デブコン平坦化

剛性向上: エクステンションの設計

■ストロングバックの「たわみ」の測定方法

等分布荷重を集中荷重に直して測定した。



目標: 両端支持した場合のたわみ δ は0.5mm以下とする

■旧型ストロングバック(アルミフレーム組み立て型)の問題点・・・剛性不足



表1 たわみ測定結果

たわみ測定試験結果 (アルミフレームストロングバック)	
支持方式	両端支持 (スパン: 2.5m)
たわみ測定機器	ダイヤルゲージ (最小読み10um)
荷重 (中央部)	13.62 k g
たわみ (中央部)	0.265mm

中央集中荷重13.62kgの場合、最大たわみは**139um以下**でなくてはならない。

ストロングバックの剛性不足が指摘された。→構造の見直しへ

■ ストロングバック比較(アルミ溶接品、ステンレス溶接品、アルミフレーム組立型)



アルミ溶接ストロングバック



ステンレス溶接ストロングバック



アルミフレーム組立型

表2 材料・構造別 ストロングバック重量 と たわみの比較
(両端支持(スパン2.5m)、中央集中荷重 13.8kgfの場合)

	アルミ溶接品	ステンレス溶接品	参考 アルミフレーム製
重量	18kg	22.2kg	24.7kg
たわみ(FEM)	80.2um(パイプ肉厚3mm)	70.3um	データなし
たわみ(実測)	73um	70um	265um
溶接ひずみ	4~6mm	2~3mm	-

※アルミ溶接品は溶接歪が大きいので、不採用

溶接品は、溶接歪み避けられない。別途平坦化が必要になった。

報告内容

1、インストールジグ

- 1) 仕様と構造決定
- 2) 大急ぎで手分けして製作
- 3) 信頼性向上: Z軸ナット変更、キーの取付け
- 4) 安全対策: チェーンカバー、錘の取手
- 5) 位置決め: デジタルカウンタ
- 6) 使い易く: XY同期装置、モータードライブ
θ回転固定装置と微動回転装置

2、ストロングバック

形状の検討

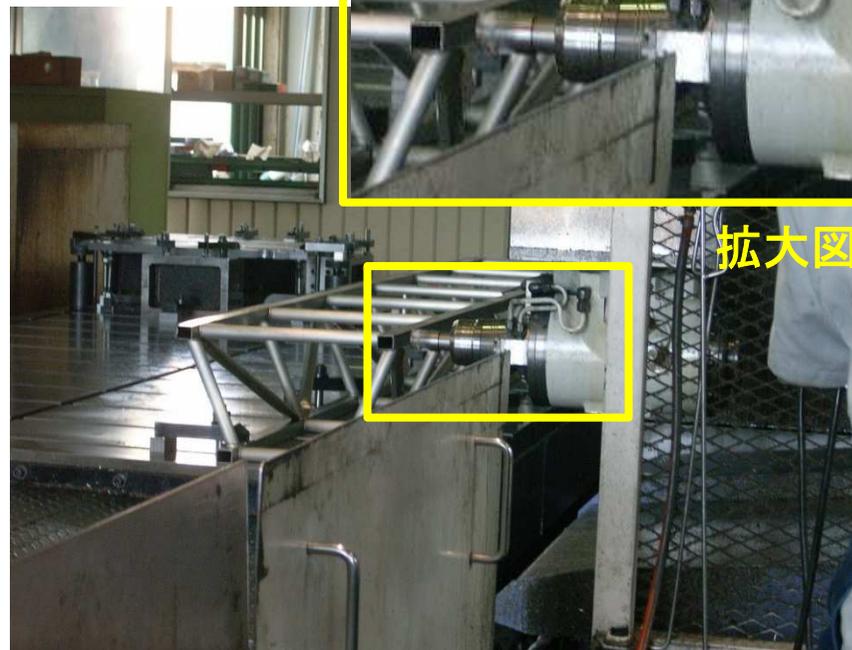
歪対策: デブコン平坦化

剛性向上: エクステンションの設計

ストロングバック 溶接歪み補正



デブコン塗布面



拡大図

5面加工機による平面加工

※16台製作するため、ストロングバックの量産は外注している。



デブコン(パテ)の外観
(デブコンHPより引用)

ストロングバックとTOPカウンターを組み合わせた状態



ストロングバックとTOPカウンターを組み合わせた状態
(KEK提供)

溶接型ストロングバック(名古屋大学での内製)



経験が無いと、業者に指示できない(溶接歪対策)

ストロングバック 外注業者を探す



腕の良い加工業者を探す必要性: 偶然、公園で見つけたトラス構造物

報告内容

1、インストールジグ

- 1) 仕様と構造決定
- 2) 大急ぎで手分けして製作
- 3) 信頼性向上: Z軸ナット変更、キーの取付け
- 4) 安全対策: チェーンカバー、錘の取手
- 5) 位置決め: デジタルカウンタ
- 6) 使い易く: XY同期装置、モータードライブ
θ回転固定装置と微動回転装置

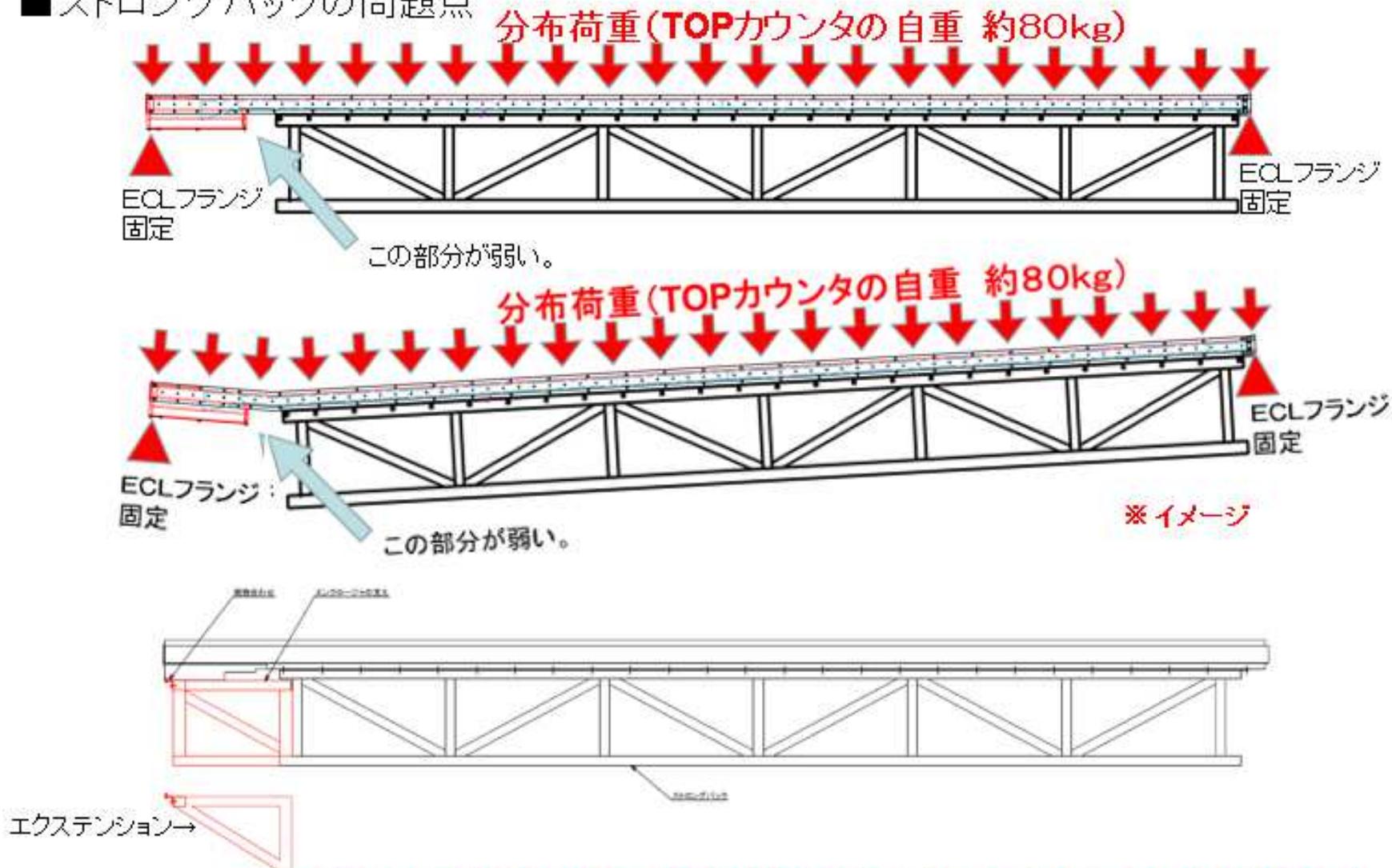
2、ストロングバック

形状の検討

歪対策: デブコン平坦化

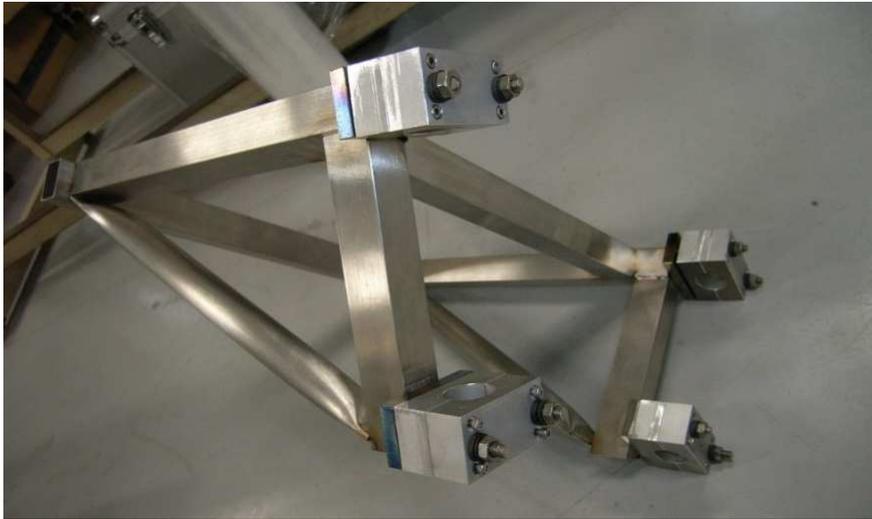
剛性向上: エクステンションの設計

■ ストロングバックの問題点



ストロングバックの延長部品 (エクステンション) が必要

■試作1号エクステンション



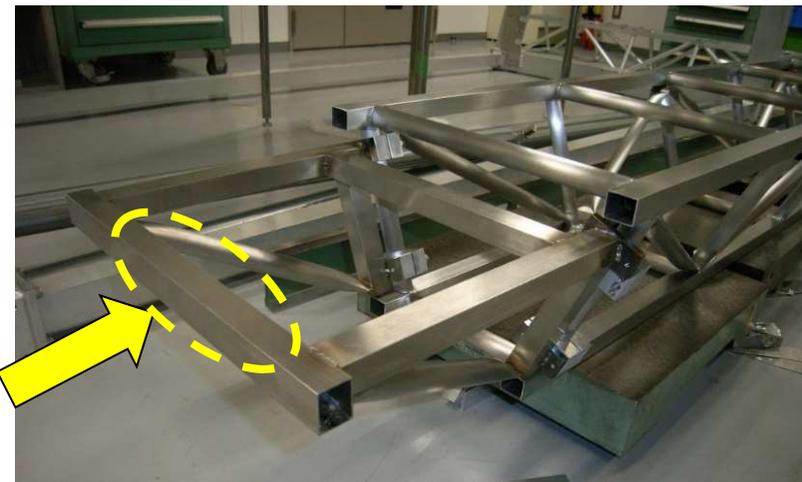
ストロングバック本体との接続部



ストロングバック本体に取り付けたエクステンション

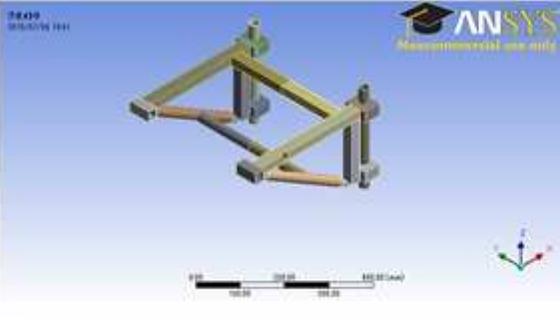
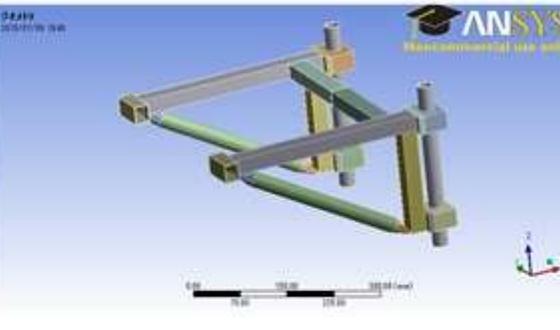
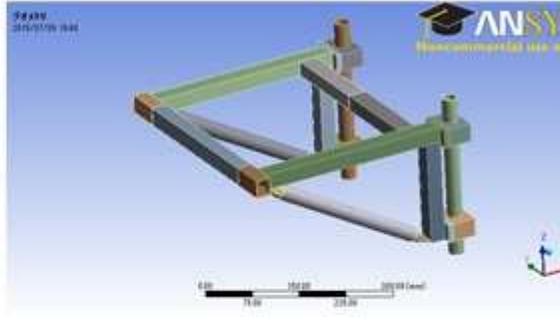
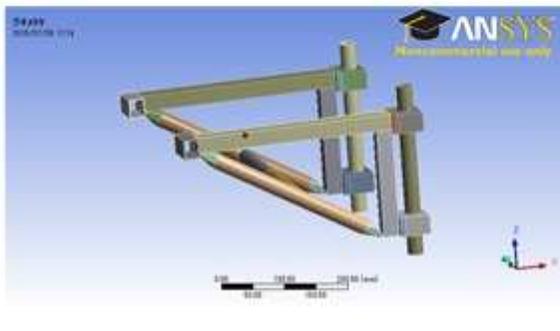
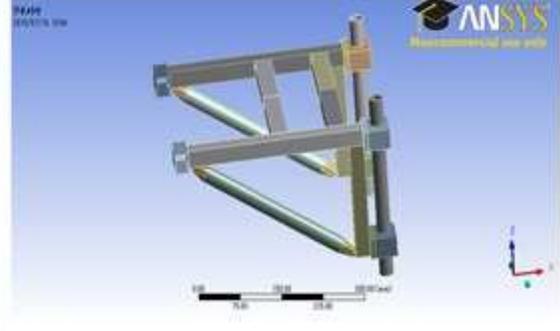
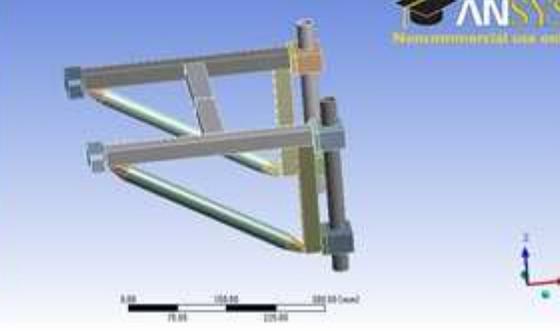
横棒が電子回路のメンテナンス作業に支障をきたすとの指摘があり、構造を再度見なおす事になった。

この部分が電子回路のメンテナンス時に障害となる



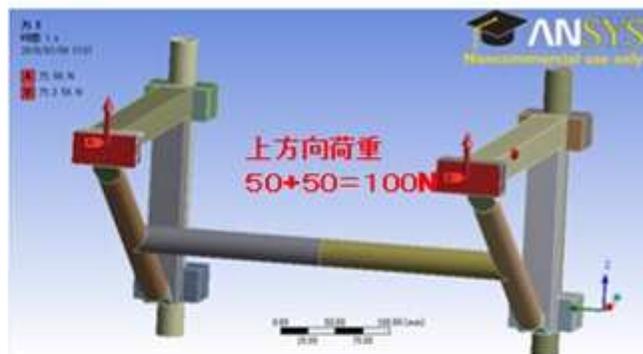
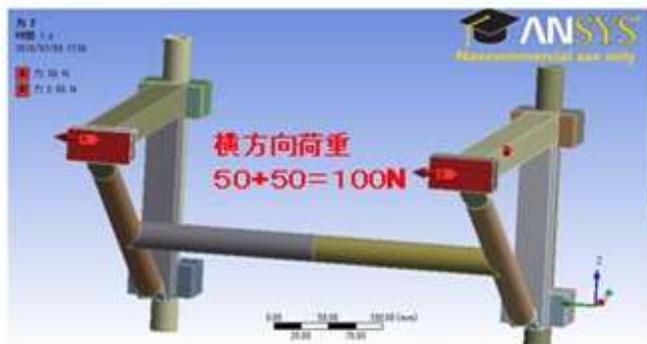
■FEMを活用した構造の見直し

6種類の構造を検討した。

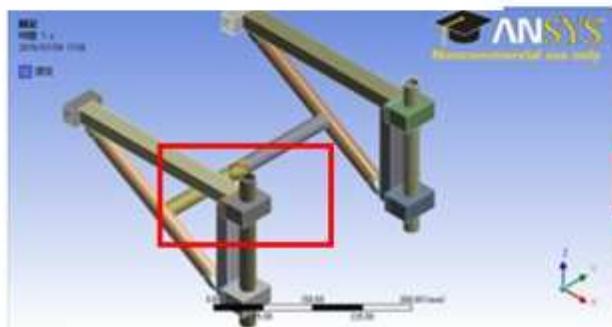
<p>前方開放中間棒あり後方棒あり</p> 	<p>前方開放中間棒なし後方棒あり</p> 	<p>前方棒あり中間棒なし後方棒あり (現状)</p> 
<p>前方開放中間棒あり後方棒なし</p> 	<p>前方開放中間角パイプあり後方棒あり</p> 	<p>前方開放中間角パイプあり後方棒なし (発注)</p> 

■ 荷重条件、境界条件

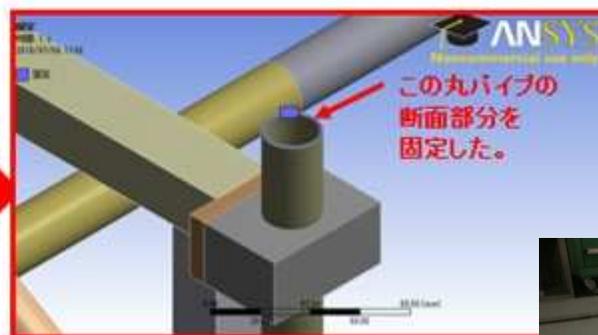
荷重条件(上下方向、横方向の2通り)



境界条件(固定部)



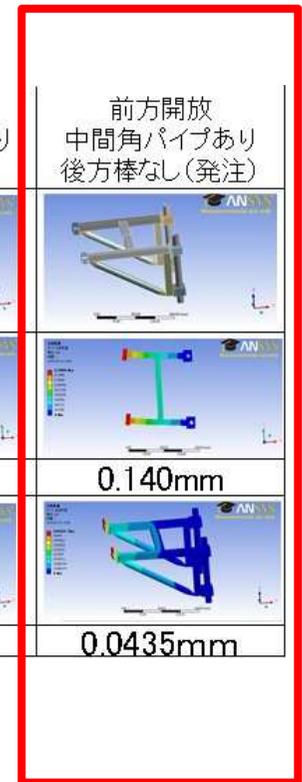
拡大



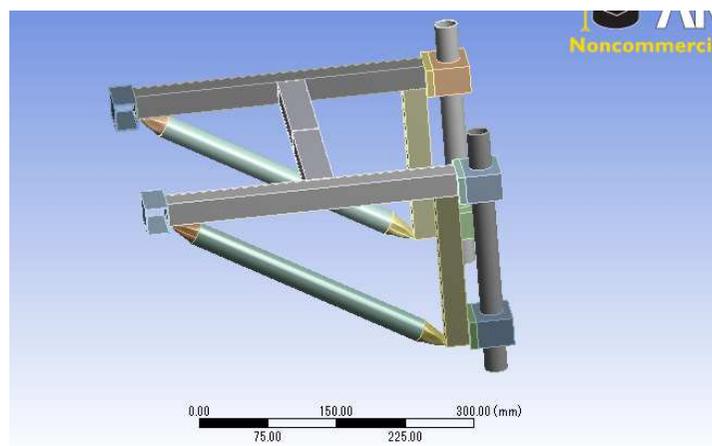
■FEMを活用した構造の検討(6種類)

6種類の3Dモデルを作成し、FEMにより剛性を調べた

	前方開放中間棒あり 後方棒あり	前方開放中間棒なし 後方棒あり	前方棒あり中間棒なし 後方棒あり(現状)	前方開放中間棒あり 後方棒なし	前方開放 中間角パイプあり 後方棒あり	前方開放 中間角パイプあり 後方棒なし(発注)
外観						
最大変形量 (横方向 100N)	 0.170mm	 0.216mm	 0.110mm	 0.251mm	 0.111mm	 0.140mm
最大変形量 (上方向 100N)	 0.0435mm	 0.0436mm	 0.0389mm	 0.0436mm	 0.0435mm	 0.0435mm

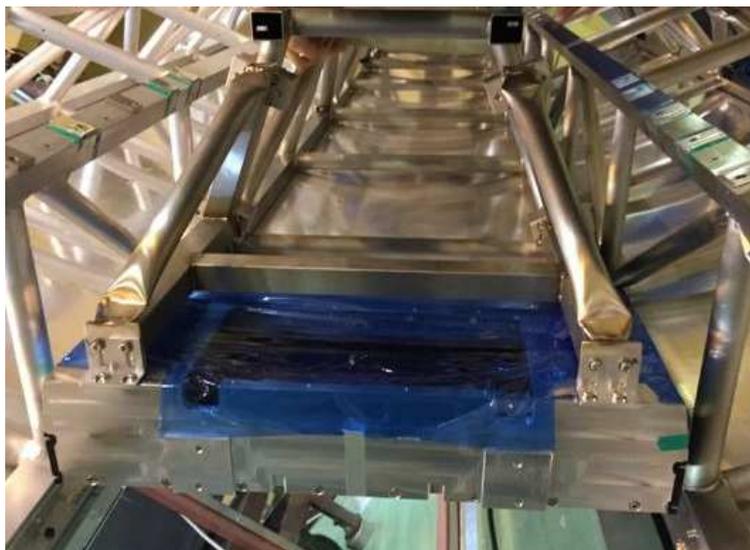


採用案

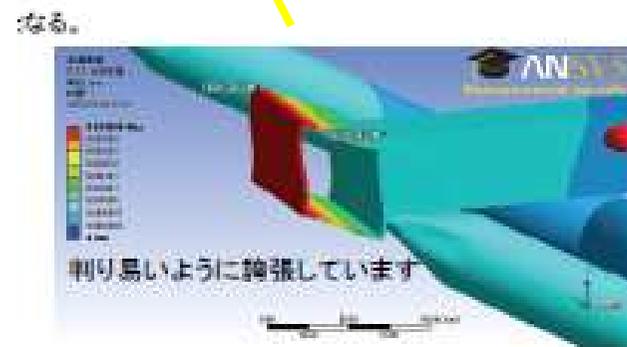
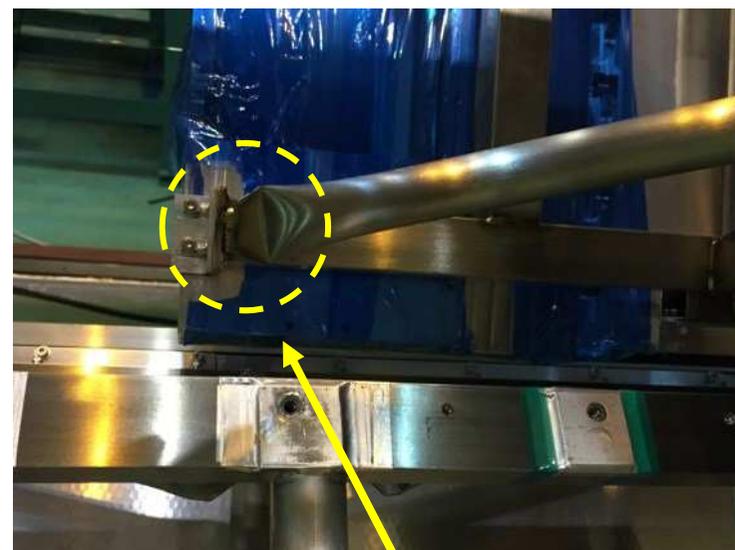


FEMの結果と製作の容易さから、
「前方開放中間角パイプあり後方棒無し」
を採用した

■試作2号 エクステンション(最終形状)



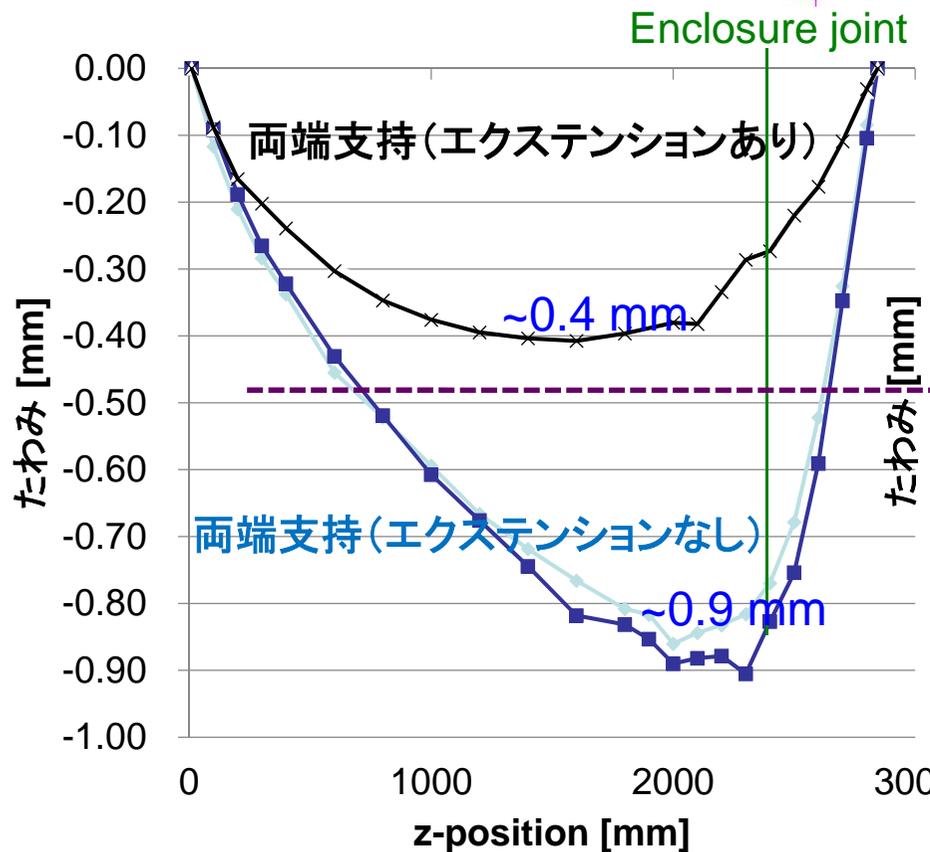
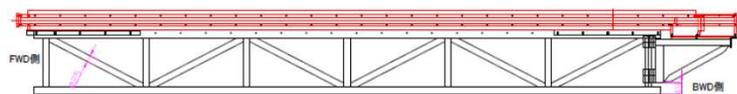
試作2号エクステンション



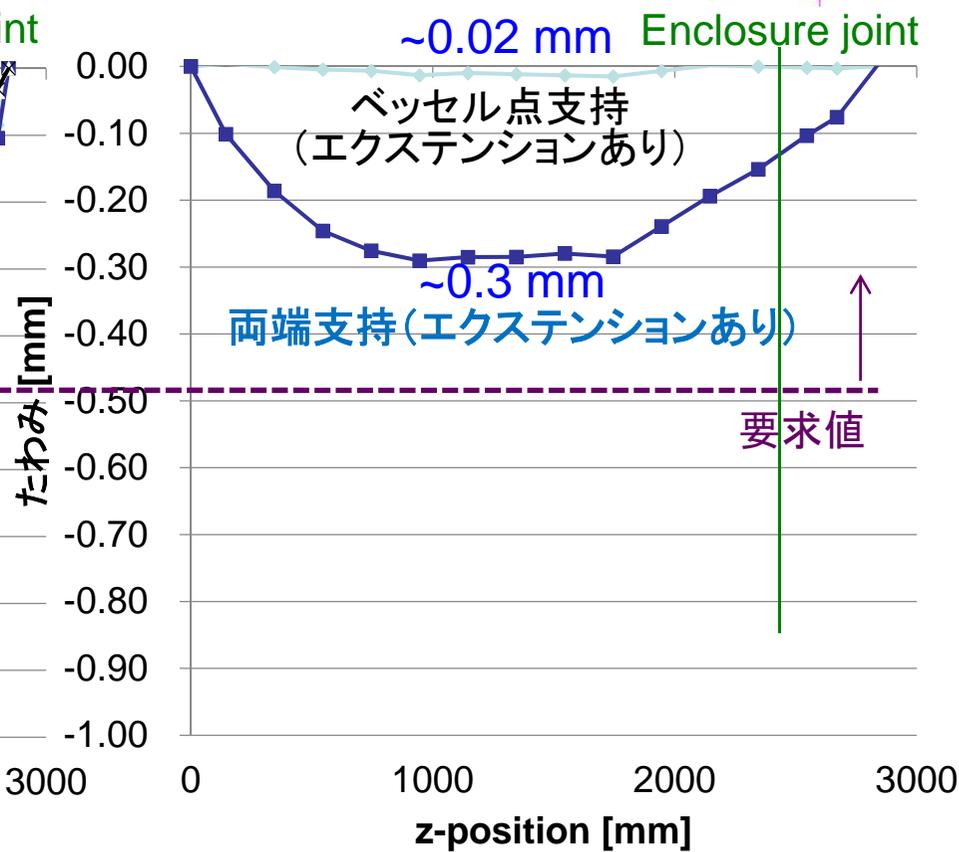
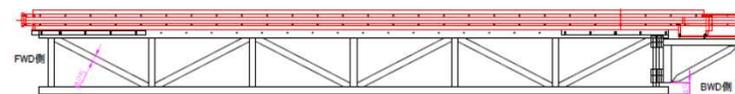
FEMの結果から、先端の角パイプは板に変更した

■エクステンションの効果(試作1号、2号)

試作1号エクステンション装着時のたわみ



試作2号エクステンション装着時のたわみ



B2GM22 TOP Parallel Session資料より引用

■ストロングバック(エクステンション含む) まとめ

- ・ストロングバックについて
 - アルミフレーム型ストロングバックから溶接トラスに変更
 - ★早い段階で**見切り**をつける事が重要である
 - ★軽量で剛性のあるストロングバックに改良できた
- ・エクステンションについて
 - FEM**を活用し、試作回数を減らし、構造を決定できた
- ・**細かい設計変更**に対応できる業者は少ない
 - ★普段から**腕のよい加工業者**を探す

終わり