

名古屋大学タンデトロン2号機の現状

丹生越子

名古屋大学 年代測定資料研究センター

〒464-8602 名古屋市千種区不老町

TEL: 052-789-3082

FAX: 052-789-3092

E-MAIL: m46946a@nucc.cc.nagoya-u.ac.jp

1. タンデトロン2号機

名古屋大学年代測定センター・タンデトロン2号機は、オランダにあるHVEE (High Voltage Engineering Europe) 社製 Model 4130-AMS で、特に炭素同位体比測定専用の機種である。1995-1996年度の導入以来調整を重ね、1999年1月に分析機としての性能検査を修了したが、その直後から高電圧発生装置に故障をきたし、主にその修理のために、実にのべ8ヶ月間に渡って、測定不能の状態を余儀なくされた。以下に、その故障と、合間を縫って行われた測定の状況について報告する。

2. 1999年度の運転状況

1999年度の運転状況を、表1に示す。

アクセプタンス・テスト修了直後に発見された、高電圧発生装置のトラブルは、度重なる調整の甲斐なく、断続的に症状を悪化させたため、3月半ばから、タンクを開放して調査を行う必要が生じた。部品の不足から修理は長期化し、5月中旬まで及んだ。

6月からは、長期停止の影響から各部に生じた不調を克服しつつ、測定を試みたが、約1ヶ月間測定した時点で、再び高電圧発生装置に不調をきたし、10月まで完全停止することとなった。これらの故障により、実に8ヶ月間に及び、全く測定ができなかった。その後も、こまごまとした故障が重なり、部品の入手に時間を要したため、再び測定できる状態を取り戻した時には、11月に入っていた。

11月からは、かなり早いピッチで測定を進めたが、運悪く、定期点検のための停電や、地下鉄工事、およびその事故に伴う停電が重なり、全機械の停止と、その復帰後のメンテナンスに時間を奪われることとなった。

表1. 1999年度タンデトロン2号機運転状況

	運転内容	故障(停止)期間	停電
1999年1月	↑ 調整(2週間) ↓ アクセプタンス・テスト	・ 冷却水循環装置停止(2週間)	
1999年2月	↑ ↓ 測定(1週間)	↑ 高電圧発生装置、制御不良 ¹² C chopper 不良	
1999年3月		高電圧発生装置停止 ↑ タンク開・ダイオードアレイ点検	
1999年4月		タンク開放(8週間) 	
1999年5月		↓ ダイオードアレイ交換 ・ タンク閉・SF6ガス充填	
1999年6月	↑ 調整(4週間) ↓	・ クライオポンプ故障 ・ エアコンプレッサ故障	
1999年7月	↑ 測定(4週間) ↓	・ スパーク頻発	
1999年8月		↑ 高電圧発生装置(トランスコイル)故障 高電圧発生装置停止(6週間)	
1999年9月		↓ タンク開・コイル交換 ・ マグネット電源故障、真空バルブ故障	
1999年10月	↑ 調整(6週間) ↓	・ Q-Snout 電源不良、タンク開(1週間)	
1999年11月	↑ 測定(3週間) ↓	・ ターゲット電流制御不良 ・ ディテクタファラディカップ制御不良	停電
1999年12月	↑ 測定(2週間) ↓		
2000年1月	↑ 測定(3週間) ↓		
2000年2月	↑ 測定 ↓	・ ターゲット電流制御不良 ・ ターゲット操作不良	停電 停電

3. 故障状況

個々の故障について、発見された順に説明する。

・ 整流器ダイオードアレイ（高電圧発生装置）

1999年1月22、23両日に実施されたアクセプトテストの結果を踏まえ、メーカーとの契約が1月26日に行われた翌日、高電圧発生装置のトラブルが発見された。具体的な症状としては、高電圧が不安定になり、スパーク（放電）が頻発する、あるいは特に問題が無いにも関わらず、突然0kVまで落ちてしまうというもので、初期の頃は、コンディショニングのために、運転電圧2.5MVより高めにした時のみ発生していた。

メーカーと連絡を取ったところ、スパークあるいは何らかの故障により、制御可能な範囲が狭まっている可能性があるとの事だったので、制御回路の設定を変え、調整を試みたが、断続的に症状は悪化し、2月半ばまでには、運転電圧の2.5MVでも、しばしば高電圧が落ちてしまい、運転を続けることが困難になった。

そこで、3月に運転を完全に停止し、タンクを開放して全面的に調査を行った。可動部分だけでも2500Kgあるタンクを開放し、整流器部分を点検できるようにするには、実験室の大きさ・形状から制限を受け、困難を伴うため、専門の運送業者に依頼しても、開放するだけで半日掛かる作業となった。

整流器部分を点検したところ、ダイオードアレイのダイオードと抵抗に多数の焼け焦げ・破損が発見された。破損の理由としては、導入以来何度か起こった高電圧発生装置のスパークが考えられたが、その影響としては、範囲がダイオードアレイの全体に及び、実に、使用されているダイオード1422個中336個（24%）、抵抗158個中14個（9%）が破損し、交換する必要があった。

直ちにこれらをメーカーに発注したところ、メーカー側から、破損の割合があまりにも高いことから、これらの部品と同時期に製造された部品に、何らかの問題があったとして、部品の全面的な交換を提案された。メーカーに部品の在庫が無かったため、代替品の受取までに1ヶ月以上掛かり、部品の取り付けを終えたのが5月半ばであった。

・ ^{12}C チョッパーホイール

^{12}C チョッパーホイールは、リコンビネータ中央にあり、加速器部分に入射する前に、炭素同位体中最も存在比の高い ^{12}C ビームを90分の1に減衰させ、 ^{12}C 、 ^{13}C 、 ^{14}C の同時加速・測定を可能にさせるという、入射システムにおいて重要な役割を担っている。

不安定な高電圧の制御に苦心していた2月初旬、このチョッパーホイールの稼動時に、金属がこすれるような高い音が観測された。最初の数日は、長時間実験室に滞在しているものだけが聞き取る程度で、大気中にあるモーター及びベルト等に異常が見られなかったため、測定を続けていたが、次第に、聞くに堪えないほどの騒音になり、点検の結果、大気中にあるモーターから、真空中のホイールに回転を伝える軸受けの部分（ferro fluid

feedthrough) の故障が発見された。

この部品もメーカーに在庫が無かったため、一時は入手に 18 週間掛かると脅されたが、実際には 2 ヶ月後の 5 月末に受け取ることができた。分析器本体も、上記の通り整流器故障による長期停止に入っていたため、余り損害を感じさせることなく修理を終えたが、他の時期だったら、このトラブルだけで、2 ヶ月間も運転停止せざるを得ないことを考えると、現在のスペアパーツの保有状況を、とても楽観できない。

高電圧発生装置整流器、¹²C チョッパーホイールの故障修繕が全て終わったところで、やっと測定のための調整が可能になったが、ここで、長期停止の弊害か、こまごまとした故障が続けて起こり、6 月一杯は、その対応に追われることとなった。故障の内容と対応は、以下の通り。

- ・ クライオポンプ・コンプレッサの温度センサの故障
メーカーから部品取り寄せ後、交換。
- ・ リコンビネータ Y-steerer 電源不良
フューズ切れ。交換。
- ・ ソース・ファラディカップ制御不良
長期不使用により動きにくくなっていたので、外から動きを助けてやったところ、制御可能に。
- ・ エアコンプレッサ故障
長期停止期間のメンテナンス不足。メーカーによる修理。水抜き回数の増加。修理自体は 2 日しか掛からなかったが、エアコンプレッサが止まっていた間、全ゲートバルブの開閉ができなくなり、ビームラインの真空度が下がり、復旧に時間が掛かった。
- ・ Q-Snout Bias 電源不良
フューズ切れ。交換。
- ・ ファラディカップからの読み出し不良
長期不使用により、読み出し回路が働かなくなっていた。そのままではリセットもできなかったので、全く別の電流計につなぎ替えてみることで、リセットの代わりになり、その後は通常の読み出し回路が使用可能になった。
- ・ 実験室エアコン停止
エアコン室外機が、屋外の南側に設置されているため、フィルタが汚れ、夏期の温度上昇に対応できずに停止。業者によるフィルタ洗浄。緩んだファンベルトの交換。

これらの問題を克服し、7 月初めより測定を再開したが、2 月中に匹敵するほど高電圧のスパークが頻発し、おそろおそろ測定を進める状態だった。高電圧発生装置を囲む SF6 ガスの

露点が限度より高かったのよること後になって発見された。SF6 ガスを精製するフィルタが2年間の使用で劣化していたこと、及び、5月より新規導入した露点計の設定が間違っていたことから、対応が遅れた。

- ・ トランスフォーマコイル（高電圧発生装置）

7月末になり、再び設定電圧 2.5 MV 以下で高電圧が落ちることが2回起きた後で、全く高電圧が掛からなくなった。運悪く、メーカーが夏休みに入ったところで、休みが終わる8月半ばまで連絡が取れず、対応が遅れた。メーカーの指示により、高電圧発生装置回路の状況を示す Q-Factor を測定したところ、高電圧発生装置の前段部にあたるトランスフォーマの coils の不良が予想された。Coil の代替品が到着するのを待って、9月初旬、再びタンクを開放したが、内部はCoilの焼け焦げにより、煙と煤が充満して凄まじい匂いがし、全ての部品が汚染された状態であった。Coilの交換の手間もさることながら、清掃に手が掛かり、タンクの開放期間が延びそうだったため、普段は2号機の運転に関わっていないメンバーにも手を借り、狭いタンクの中に入り、入り組んだ部品を拭き清めた。

- ・ マグネット電源

タンク解放後の処置も終わり、これで問題も出尽くしただろうという感の下、測定に向けて調整に取り掛かったが、まだまだ問題は続いた。まず、9月半ばに、後段部にある二つのマグネットのコントローラへの電源供給部分のブレーカーが火花を放って焼け焦げた。原因を探ると、コントローラ内にあるフェーズディテクタの故障による影響と思われたため、部品を発注した。10月初めには仮修理で運転を始めたが、下記のような故障も重なったため、10月末に部品が届いて完全に修理を終えるまで、ほとんど測定はできなかった。

- ・ 真空バルブ

マグネット電源の故障とほぼ同時に、ソースアイソレーションバルブの制御不能が発見された。点検すると、内部のOリングが切れていた。これは、長期不使用の影響と思われたが、以前にも故障が見られた箇所であり、バルブ自体の不良が懸念されたため、新しい部品が届いた10月末に交換した。

- ・ Q-Snout 電源

調整中の10月半ば、突然 Q-Snout 電圧が不安定になった。タンク内部で連続放電を起こしている可能性があったため、再度タンクを開け、点検したところ、加速器最前段にある Q-Snout の、スパークギャップの汚れが原因であった。これは、トランスフォーマコイル故障の影響で、タンクの一番端の非常に見難い部分にあったために、9月に行ったタンク内部の大掃除の際に見落とされていたと考えられる。そこで、これを取り外して洗浄し、ギャップの間隔を正しく調整した。

この時のタンク開放は、小規模で済んだため、1週間程度の運転停止で復帰することができた。

11月以降に起こったトラブルには以下のようなものがある。

- ・ ソースターゲット電流の異常

測定中、あるいは測定後の半休止状態で、ターゲット電流が異常に流れることがあった。これは、ターゲットがカルーセルから出し入れされる際、カルーセルにある、ターゲットを押さえる爪でターゲットホルダが削られ、アルミ屑がターゲットチェンバー内に溜まり、それがターゲットコーン等でショートを起こす原因になると考えられる。このため、ターゲット入れ替え時に、定期的にターゲットチェンバー内を清掃する必要がある。

- ・ ディテクタ・ファラディカップの制御不良

11月末の停電後、ディテクタ・ファラディカップの出し入れができなくなった。これは、停電復旧時にバルブが誤動作した際に、空気制御弁が詰まったためと思われ、詰まりを取って直した。

- ・ ターゲットカルーセル劣化による、ターゲット制御の不良

2000年1月末より、ターゲットの交換に失敗して測定が止まる事故が度重なった。これは、旧型（爪で止めるタイプ）のターゲットカルーセルを使用していたため、爪とばねの部分が劣化したこと、またメーカー純正品ではなく、名古屋大学で依頼して作成した、改良型のターゲットホルダ（純正品の約半額）を使用したため、爪の劣化を助長したためと考えられる。

現在では、ターゲットホルダをさらに改良し、ターゲットカルーセルを新型（ボールベアリング型）に交換したため、引き続き監視中ではあるが、今のところ、この問題は起こっていない。

- ・ 停電の影響

11月末に、毎年一回の定期点検のための停電が行われた。これ以外に、2000年1月末に、地下鉄工事の際に、配電線を切りかける事故が起こり、その復旧のために停電し、再び2月末にも停電が行われ、地下鉄工事に関連した停電が度重なった。

これらに対応して、事前に真空システムを除く全システムを停止させた。真空が悪くなる時間をできるだけ短くするために、停電当日（3回とも休日に実施された）の早朝に真空システムを停止させ、同日夕方再び出勤し、停電復旧後速やかに全システムを再スタートさせることが必要となった。

真空システム、特にクライオポンプを停止させるため、復旧後2～3日はクライオ・ヘッドの再生に時間を費やした。

今年度起こった故障を振り返って見るに、故障が起こるのは、運転中よりも、大規模な故障による長期停止や停電の後に、こまごまとした故障が集中していることが判る。

また、故障発生後、業者による故障確認に時間が掛かり過ぎる。酷い時には1ヶ月近くも待たないと、確認に来てもらえないことがあり、必然的に代替品の発注が遅れる。その上、部品手配および入手に時間が掛かる。国外にあるメーカーから部品を取り寄せる場合は、当然、配送や通関手続き等に時間が掛かるのは仕方がないとしても、国内で入手可能なものさえ、状況報告のないまま、1ヶ月も待たされることさえある。全ての部品について、スペアパーツを備え持つ事は不可能であることから、これらの状況への対応を考えなければならない。

時差と言語の壁があるため国内業者を頼りがちであるが、自社製品への信頼を重視するため、メーカーの対応の方が、比較的早く、また柔軟であるため、メーカーとの連絡をこれまで以上に緊密にすることが望ましいと考える。

4. 測定状況

測定は、大きく分けて、標準体を使った再現性・安定性テスト、既知試料 (IAEA-C1~C8) 測定、未知試料測定の3種が行われた。

4-1) 再現性・安定性テスト

分析器の性能を評価する基準として、アクセプタンス・テストと同手順の測定を行った。同様の条件で処理された標準体試料 (NBS-NEW) 1mg を詰めた標的を複数個用意し、それを繰り返し測定することで、分析機本来の測定精度を評価することになる。

各標的について、炭素同位体比 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ を測定する。1点につき30秒の測定を、標的表面の9点×2周について行い、6標的について順次測定する。これを測定の一単位 (1バッチ) とする。1単位の測定に要する時間は、標的交換に掛かる時間も含めると、約1時間である。この測定後、 ^{14}C 計数の平均に対する統計誤差、各標的に対する炭素同位体比 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ の平均と標準偏差から、分析器としての性能を評価する。

アクセプタンス・テストの場合、 ^{14}C 計数の平均に対する統計誤差が0.25%以下である時に、1標準偏差が $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ について0.5%、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ について0.3%以内であることが条件になっていた。

表2に、1999年度に行われた再現性・安定性テストの結果を掲げる。いずれの回も、アクセプタンス・テストを上回る成績を修めた例は無く、また、 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比の標準偏差に注目すると、それぞれの測定での ^{14}C 統計誤差を基準にして見た場合、測定誤差を小さくする余地がまだあるように思える。

表 2. 再現性・安定性テスト結果

ターゲット毎の平均

No.	queue name	¹⁴ C counts	stat. error	¹⁴ C/ ¹² C	rel.std.dev.	¹³ C/ ¹² C	rel.std.dev.
1	q990122	217763	0.214%	1.5163E-12	0.171%	1.1571E-02	0.033%
2	q990123	262281	0.195%	1.5160E-12	0.162%	1.1570E-02	0.028%
3	q990712b1	218609	0.214%	1.5117E-12	0.332%	1.1556E-02	0.034%
4	q990721b2	186594	0.232%	1.5176E-12	0.233%	1.1581E-02	0.013%
5	q991102b2	229090	0.209%	1.5069E-12	0.363%	1.1592E-02	0.062%
6	q991208c1	446888	0.150%	1.5088E-12	0.326%	1.1572E-02	0.089%
7	q991208c1	514879	0.139%	1.5058E-12	0.327%	1.1572E-02	0.090%
8	q991224e1	332320	0.173%	1.5330E-12	0.173%	1.1593E-02	0.022%
9	q000105c1	397898	0.159%	1.5047E-12	0.401%	1.1568E-02	0.034%
10	q000112b1	393549	0.159%	1.5020E-12	0.256%	1.1563E-02	0.044%
11	q000117c1	495210	0.142%	1.5061E-12	0.222%	1.1558E-02	0.040%
12	q000201b1	88509	0.336%	1.5200E-12	0.413%	1.1579E-02	0.013%

バッチ毎の平均

No.	queue name	¹⁴ C counts	stat. error	¹⁴ C/ ¹² C	rel.std.dev.	¹³ C/ ¹² C	rel.std.dev.
1	q990122	261315	0.196%	1.5163E-12	0.070%	1.1571E-02	0.015%
2	q990123	393422	0.159%	1.5160E-12	0.181%	1.1570E-02	0.011%
3	q990712b1	119241	0.290%	1.5117E-12	0.435%	1.1556E-02	0.157%
4	q990721b2	101779	0.313%	1.5176E-12	0.314%	1.1581E-02	0.024%
5	q991102b2	114438	0.296%	1.5069E-12	0.319%	1.1592E-02	0.014%
6	q991208c1	243757	0.203%	1.5088E-12	0.320%	1.1572E-02	0.025%
7	q991208c1	237636	0.205%	1.5058E-12	0.063%	1.1572E-02	0.028%
8	q991224e1	276933	0.190%	1.5330E-12	0.323%	1.1593E-02	0.008%
9	q000105c1	265265	0.194%	1.5047E-12	0.310%	1.1568E-02	0.002%
10	q000112b1	262366	0.195%	1.5020E-12	0.389%	1.1563E-02	0.053%
11	q000117c1	270115	0.192%	1.5061E-12	0.308%	1.1558E-02	0.017%
12	q000201b1	147515	0.260%	1.5200E-12	0.208%	1.1579E-02	0.075%

4-2) 既知試料の測定

IAEA-C1~C8の8種類について、測定を試みた。各資料について、誤差範囲で一致しているように見える。しかしながら、IAEA-C1以外の7種類については、各資料2点しか測定されていないため、さらに測定数を増やし、詳しい解析をする必要がある。

また、IAEA-C1の測定結果からも、バックグラウンドの評価が急務であることが見て取れる。

4-3) 未知試料の測定

上記のように、バックグラウンドの評価や既知試料の測定による確度の評価が遅れているため、現時点までは、比較的精度を要求されない、新しい試料のみ測定されている。

測定のスピードとしては、順調に運転している期間には、ターゲット交換、測定器の立ち上げ、コンディショニングに始まり、週日の5日間で、33個の試料を測定するペースであった。この場合、1試料あたりの測定時間は、約80分から120分であった。

5. 今後の課題

5-1) 測定データ評価

まず、既知試料の測定数を増やし、バックグラウンドの評価をし、それに基づく調整を行うことが急務である。また、再現性テストの結果を改善する（アクセプタンス・テスト結果に近づけるような）調整が必要である。このため、各パラメータを分析し、測定器の状況を端的にしめす、「チェックポイント」となる監視項目を選ぶ必要がある。

これまでは、故障の合間を縫って、幾分突発的な要求に応じてテストを行ってきたが、今後、定期的に測定精度を見積もり、調整ができ、また問題が発生しても早期発見できるような、ゆとりを含めた測定スケジュールを立てる必要がある。

5-2) 測定データの充実化

ここまで述べてきた事項は、タンデトロン2号機での測定とその結果に絞ってある。測定器は（無事に動いていれば）、刻々と、莫大な量のデータを作りつづけていく。

実際の試料を扱う場合には、試料採取に始まって、様々な行程がある。2号機での測定だけをとっても、そこには時々の状況が反映しているはずである。そこで、結果として出されるデータに、測定時の条件等や、そこに至る状況を加味し、「奥行きのある」データとして扱えるようにすることが望ましい。最終的な、評価された年代値にしても、こうした状況の積み重ねを含んだ、有機的なデータとして扱われるべきだ。また、測定の各段階の情報が相互に参照でき、フィードバックをかけられるようにすることで、それぞれの段階での問題や誤りをつきとめ、測定全体を改善していく手がかりが発見できるはずである。

そこで、数字の一人歩きを防ぐためにも、データベースの整備を急ぎ、名古屋大学年代測定センターとして、自信を持って公表でき、その数値を扱う研究者に誤解を与えないデータの型を確立することが不可欠である。

5-3) 定常測定に向けた対策

タンデトロン2号機は、4月からの学内共同利用が計画されている。しかしながら、現在専任のオペレータは、非常勤研究員の筆者唯一人であり、多くの人間が関与していく場合の管理体制の整備が遅れている。そこで、運転者教育として、運転マニュアル作成（現在 ver.1 が完成）を続け、内部利用者に向けての講習を急ぐ必要がある。

特に、故障時の対応を決めることは重要であり、運転マニュアルとは別に、事故対策マニュアル作成する必要がある。タンデトロン2号機の場合、測定時には無人運転が可能であるため、運転状況監視システム、および通報システムを整備することで、現在は測定中付きりで監視に割かれている人手を他に向けられるようになり、長時間測定が深夜に及ぶ場合等の、終夜運転に対する見通しをつけることができる。

その他にも、量産への対策として、現在人手に頼っているターゲットプレスを、少しずつでも機械化に向けて開発していく必要があり、また、上記で述べたデータベース等、データ処理方法の高速化も急がれている。

参考文献

- (1) 中村俊夫、ルディ・パルス “名古屋大学に設置されている GIC 社および HVEE 社製の2台のタンデトロン加速器分析計の現状” 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 (IX) 27-43, (1998).
- (2) 中村俊夫他、 “名古屋大学加速器年代測定システム I、II 号機の現状” 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 (X) 5-17, (1999).
- (3) 丹生越子、 “名古屋大学タンデトロン2号機のアクセプタンステスト結果” 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 (X) 18-23, (1999).

Current Status of Tandetron II in DMRC

Etsuko NIU

Dating and Materials Research Center, Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8602 JAPAN

TEL: +81-52-789-3082

FAX: +81-52-789-3092

E-MAIL: m46946a@nucc.cc.nagoya-u.ac.jp

ABSTRACT

Tandetron II in DMRC (Model-4130 AMS, HVVEE) is an accelerator mass spectrometer for the ^{14}C dating. The tuning up of it had been repeated many times after the installation. Unfortunately, just after signed up the acceptance protocol on 26 January 1999, a trouble on high voltage control was found.

The high voltage supplier had been unstable, and we tried to recover it by regulating the circuit of high voltage controller. But it became difficult to keep the right voltage of operation (2.5MV) day by day. We decided to open the tank and check up the diode array of rectifier. About 24 % (336 out of 1422) of diodes was damaged and should be replaced. We should wait the arrival of new sets of diode till the end of April.

There happened another big trouble on the high voltage supplier in the end of July. The both coils of transformer were burnt out. We opened the tank again, and the inside of tank was contaminated with smoke, and smelled bad. We should clean up every part. We could not made any measurement during March to June, and August to October because of these troubles. The operation status in 1999 is shown in Table 1.

We restarted the measurement from the beginning of November 1999. We repeated the same kind of procedure of the Acceptance Test. The results are shown in Table 2. The precision for the $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ as the reproducibility of the machine not surpassed the level of the Acceptance Test. Probably we have to tune up the machine better. We also measured the IAEA-C1 to C8 as the known sample to estimate the background and the

accuracy of the machine, but the measurement point has been not enough yet.

For the routine measurement from April 2000, we should hurry up to arrange the points as follows.

1) Estimation on measured data

- Background and accuracy estimation on the machine
- “Checkpoint” selection for overhaul
- Measurement schedule affording time for unexpected problems

2) Enrichment of the data

- Feedback from/to sampling, sample preparation, and dating
- Database

3) Arrangements for the mass production

- Manuals for operation / at the time of emergency
- Practice course for the member of the center
- Watch & Report system for automatic measurement
(Especially during night)
- Machine for target pressing