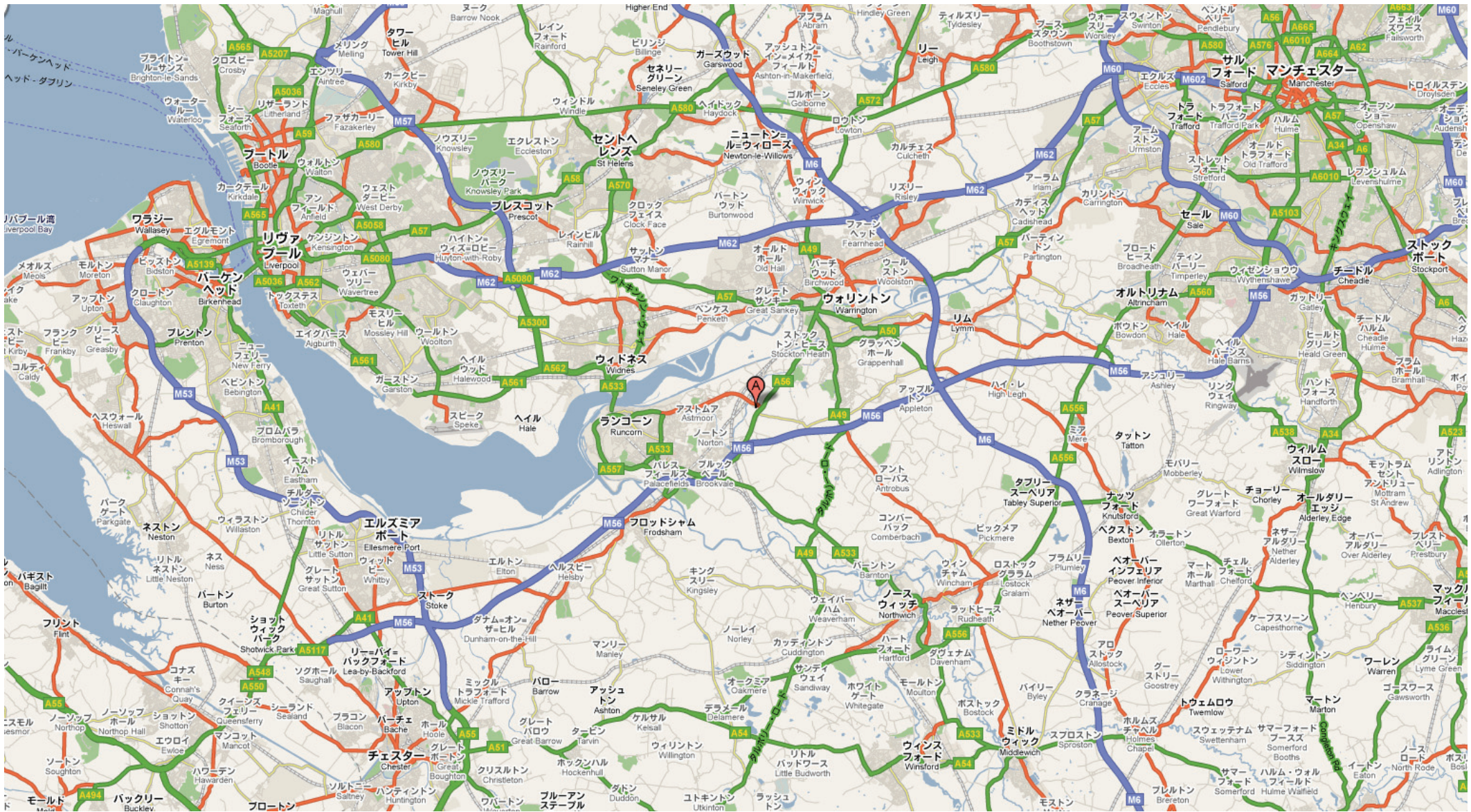


ダラスベリー研究所の ERL(ALICE)の現状

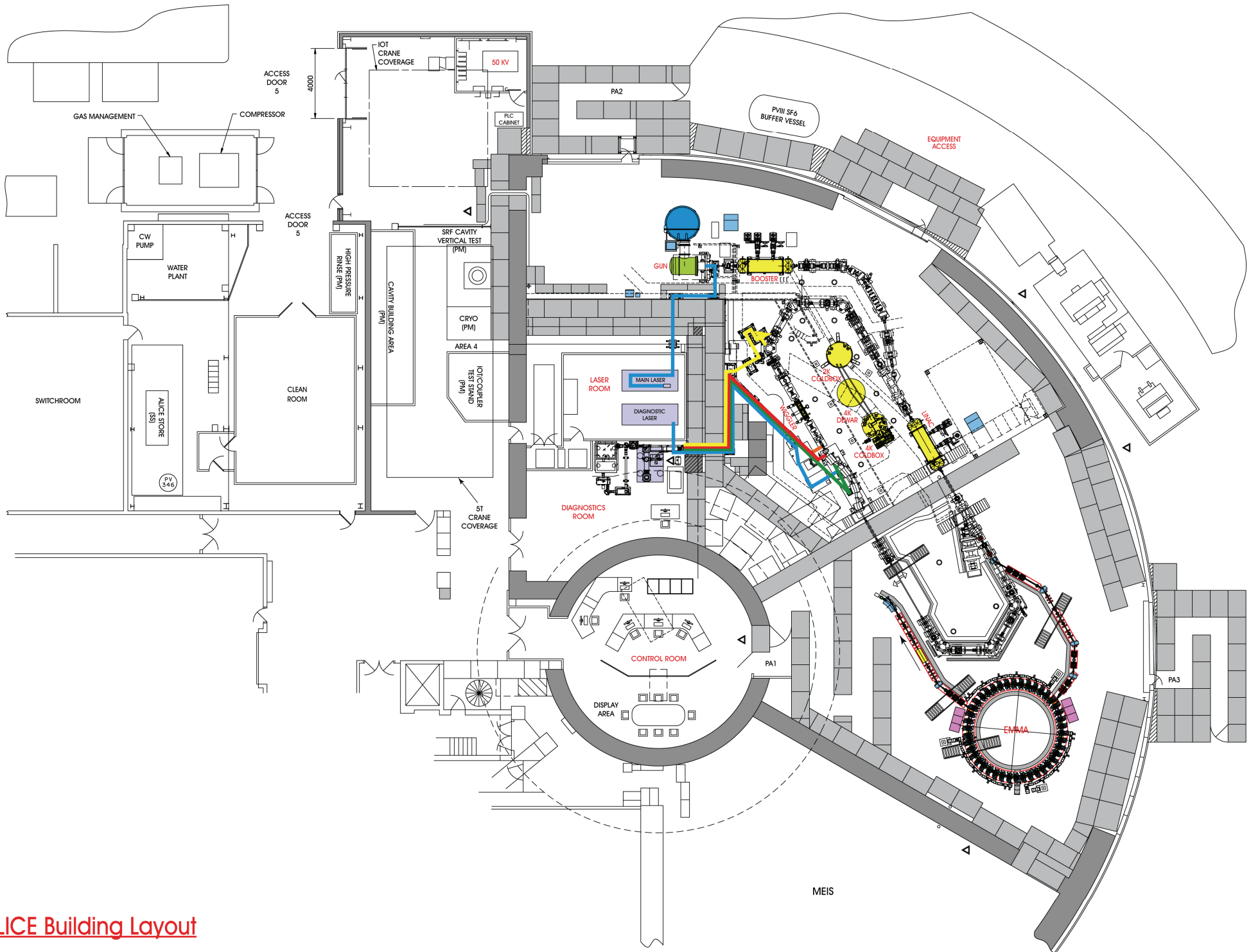
(20分)

ダラスベリー研究所



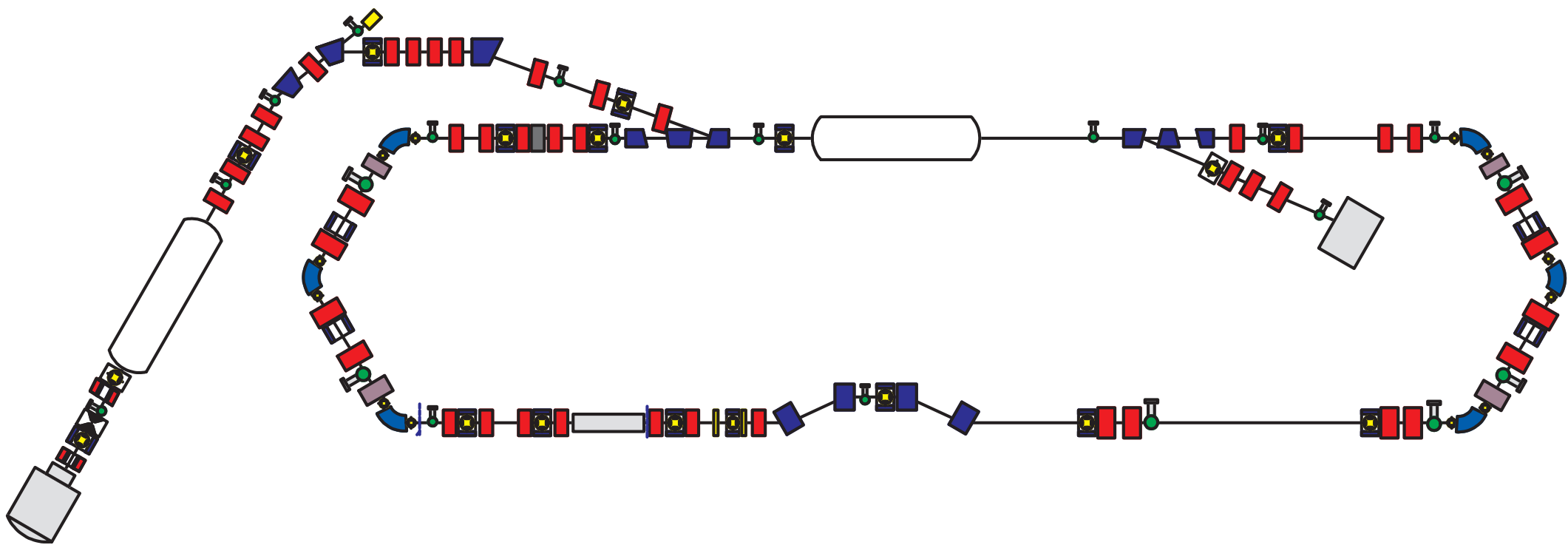






ALICE Building Layout

Constructed from Layout Drawing - 180/10080 G



ALICE “Accelerators and Lasers In Combined Experiments”

- 当初は 1GeV の ERL 計画「4GLS」用の試験加速器「ERLP “ERL prototype”」だった。
- 4GLS は残念ながら断念された。(将来計画としては、SASE-FEL が主体の NLS “Next Light Source”計画が推進されている。)
- ALICE はテスト専用の加速器として運用されることになった。放射光源のように、ずっと同じ状態、同じ目的で長期間運転するのではなく、研究課題を次々に変え、その度に装置を足したり外したりしながら数ヶ月から半年単位で運転を行うような形態を目指している。
- ダラスベリー研究所には第 2 世代放射光源 SRS があったが、2008 年 8 月 4 日にシャットダウン。所内の加速器は ALICE のみ。(電顕など、小規模な物性研究施設は他にいくつかある。)
- 2007 年冬の運転時まで、ブースター設置場所に診断ビームラインを設置し、入射部の性能試験を行っていた。(電子銃エネルギーは 350keV。) 2008 年に診断ビームラインを撤去し、ブースター空洞を設置した。電子銃のセラミックを破損、径の小さなセラミックを代わりに使用することになった。それに伴い、電子銃のエネルギーは 230keV になった。

設計パラメータ

- 電子銃エネルギー 350 keV
- 入射部エネルギー 8.35 MeV
- 周回部エネルギー 35 MeV
- RF周波数 1.3 GHz
- レーザー周波数 81.25 MHz
- バンチ電荷 80 pC
- 平均電荷 13 μ A

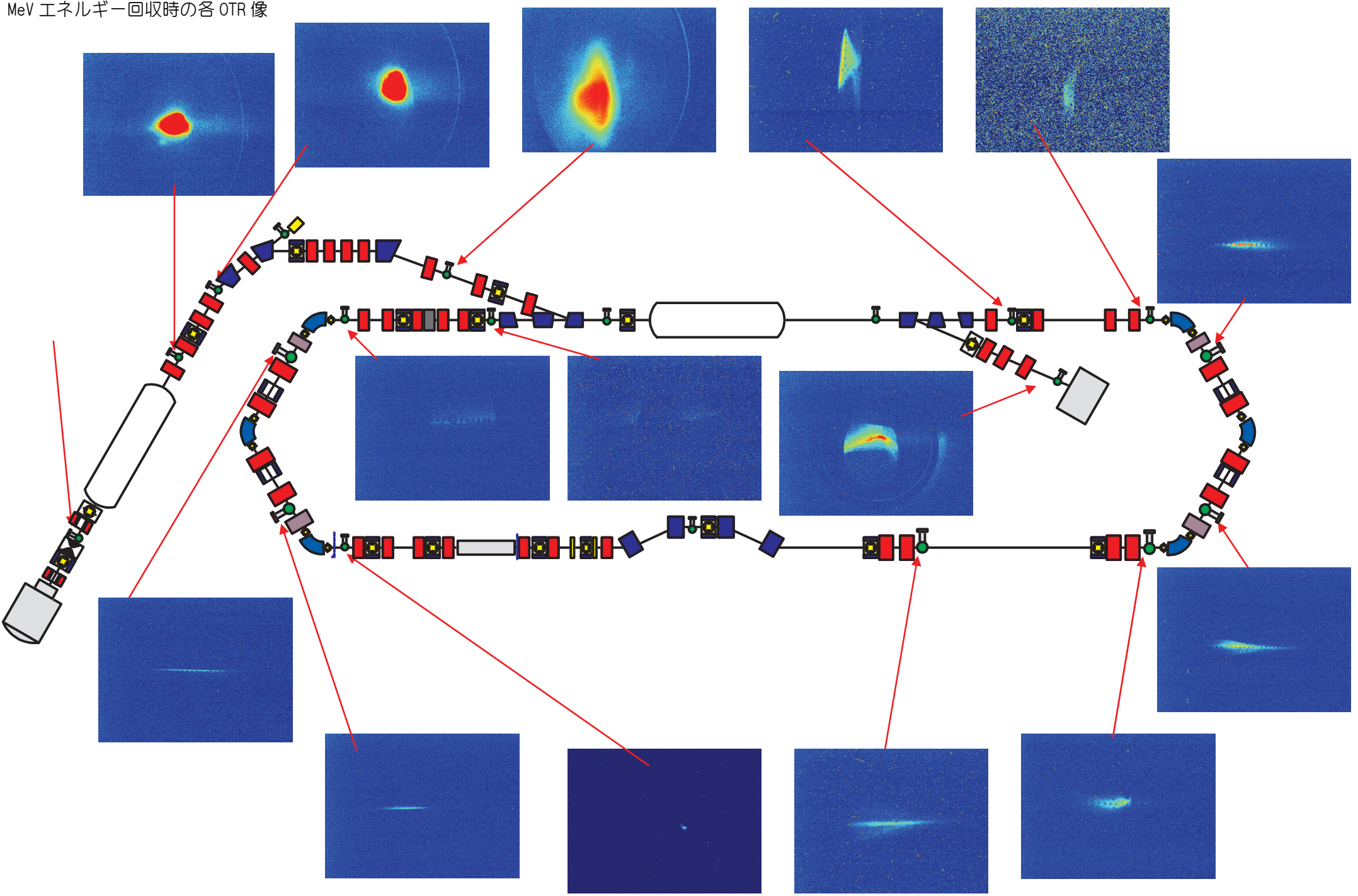
現実のパラメータ

- 電子銃エネルギー 230 keV
- RFマクロパルス長 20 ms → 5 ms
- 入射部エネルギー 2.5 MeV / 4.8 MeV / 7.0 MeV
- 周回部エネルギー 11.5 MeV / 20.8 MeV / 29.5 MeV
- RF周波数 1.3 GHz
- レーザー周波数 81.25 MHz
- バンチ電荷 3, 10, 20, 40 pC など、最大100 pC
- パルストレイン長 1, 20 nsから10, 20, 40,..100 μ s まで
- 平均電流 13 μ A

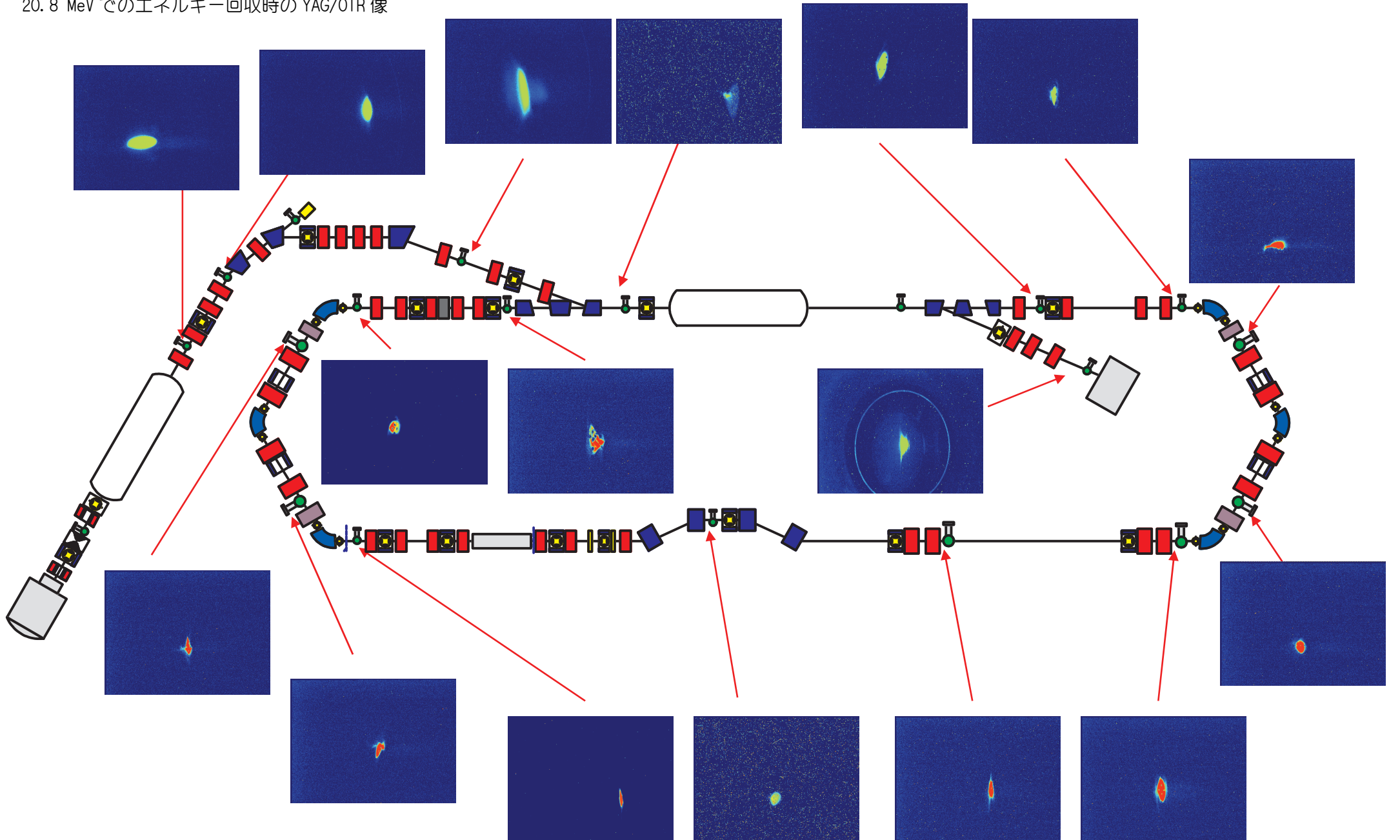
運転状況

- 2008年10月末に初めてブースター空洞をビームが通過、その片方で加速。
- 2008年11月から、加速器全体でのコミッション開始。10T不調のため、入射部エネルギー2.5MeV、周回部11.5MeV、バンチ電荷3pC。12月13日に初めてエネルギー回収運転に成功（効率は悪い）。
- 10T復旧後、入射部エネルギー4.8MeV、周回部20.8MeVにエネルギーをあげる。バンチ電荷3pCで、12月20日にほぼ100%のエネルギー回収運転に成功。
- 2009年1月より、バンチ電荷を増やして運転再開。バンチ電荷20pCでのエネルギー回収運転に成功。
- 2009年1月15日にボロメータを使ったテラヘルツ光の観測に成功。
- バンチ電荷依存性を測定、コヒーレント光であることも確認。
- その後、2月にCBS（Compton Back Scattering）及びEMMAの設置工事のため、長期シャットダウン。冷凍機及びRF故障のため、シャットダウン長引く。
- 2009年7月運転再開。RFパルス長を短くし、入射部エネルギー7.0MeV、周回部29.5MeVにエネルギーをあげることに成功。バンチ電荷を40pCを増やしてエネルギー回収することに成功。
- 現在：CBS設置後の最終調整中、テラヘルツ光を細胞照射施設に導入中。

11 MeV エネルギー回収時の各 OTR 像



20.8 MeV でのエネルギー回収時の YAG/OTR 像



重要なこと

- ビームは RF やダクトの中心（スクリーンで見て、だいたい中心）を通さなければいけない。
 - RF 集束力の影響でプロファイルが変化。
 - エネルギー測定に誤差が大きい（真面目に調整して、2 倍変わってしまったことあり！）
- RF 位相をあわせるのは至難の業。
 - バンチャーのゼロクロス位相、ブースターの加速位相の調整は非常に困難。何を使ってどうあわせるか、戦略が必要。
- RF 位相がリセットされないように……
 - トラブルや LLRF モジュールの入れ替えなどで位相がリセットされてしまうと、復帰に 1 シフトかかることもある。
- 電子銃の真空はよければよいほどよい。
- 電子銃のエネルギーは高ければ高いほどよい。

トラブル

- ビームローディング補正ができていない。
 - バンチトレインの終わりの方でエネルギーが落ちる。
- RF のエイジングができていない（加速勾配の定義は大切）。
 - 電場は、ピーク、RMS、加速ゲイン……
- RF 空洞がそもそも設計のエネルギーゲイン前で限界に達する。
 - マクロパルス長を短くすると楽になるが、うちでは使えない。
- 冷凍機が油ポンプの油で汚染され、立ち上がらない。
 - 分解掃除。
- IOT の真空が跳ねる。
 - 接地線とノイズ対策は大切。
- 電子銃のカソードが汚れ、高圧がかからなくなる。
 - クリプトンガスを使ってクリーニングした。
- 電子銃の真空槽にスローリークがあり、カソード寿命が短かった。
 - “20 pC が 2 日しか保たない”、から、“80 pC で 1 週間打てる”、へ。
- レーザー強度が変わる。
 - 増幅ダイオードの冷却水の汚れ。

- カソード中央に FE スポットがある。また、カソード全体からビームが出ている。
→ ビームコアとハローをどう扱うかが問題。

例えば、バンチャーのゼロクロス位相をどうやって探すか？

- 電圧を変えてエネルギーが変わらない位相？
 - バンチャーとブースターの最初の数セルは非常に密接に関連がある。バンチャーで加減速されると、飛行時間が変わり、ブースターへの入射位相が変わる。エネルギーもエネルギー広がりも変わってしまう。さらに、RF 集束力によるビームへの蹴りも変わる。
- エネルギー広がり（バンチ長）が最小になる位相？
 - ブースターとバンチャーに相関があるので、難しい。バンチャーで加減速される状態のままで、最初にブースターの位相をあわせても、バンチャーを変えた時点でブースターの位相も変わる。
 - そもそもバンチャーとブースターが正しい位相に近くないと、エネルギー広がりが大きすぎてエネルギーを正しく測ることは困難になる。

結局、ブースター手前の BPM 信号と RF クロックから、飛行時間を測定し、バンチャーによる加減速を判断することになった。

診断系

- YAG が全て。
- 結局、BPM は（最上流のいくつかを除き、）全く使い物になっていない。ある程度のビーム強度があったとしても、ノイズやプロファイル変化の影響が大きすぎる。
- OTR についても、最初期（バンチ電荷が少ない状態）は心眼で見る！ ある程度のバンチ電荷で運転できるようになると、安定に使えるようになる。シケインや長直線部、エネルギー分析バンド、ファラデーカップなどの前には絶対にあつた方がよい。

テラヘルツにしても……

- バンチ電荷のレーザー強度依存性を測るには？
 - バンチ電荷を変えると、（主に縦方向の）空間電荷効果により、バンチャー、ブースター以下、下流のビームエネルギー、エネルギー広がり、RF 加速位相（すなわち、バンチ長）、全て変化する。（そもそも初段のソレノイドや、バンチャー、ブースターの最適位相も電荷に依存する。）
- 光の強度がバンチ電荷の 2 乗に比例することを確かめる事は簡単ではない。

結論

- ALICE は 2008 年末にエネルギー回収運転に成功、テラヘルツ光も観測され、コヒーレントであることもほぼ確認された。
- 様々な故障を抱えたままの運転であり、パラメータは設計通りではない。
- 運転においては、思いもよらないところが難航する。RF 位相をあわせる、エネルギーを測る、バンチ長を測る、いずれも一筋縄ではいかない。
- ……どんなひどい状態でも運転はできる。結構、意外と何とかなる。テラヘルツも観測できる。
- 実際のビーム像やグラフを含む（長大な？）報告は、多分、後日。