

氏名	望 月 哲 朗
学位（専攻分野）	博士（学術）
学位記番号	総研大甲第72号
学位授与の日付	平成6年3月24日
学位授与の要件	数物科学研究科 放射光科学専攻 学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	高輝度X線アンジュレータ用の耐熱ビームライン素子 と新型分光器の開発
論文審査委員	主 査 教 授 北 村 英 男 教 授 安 藤 正 海 教 授 松 下 正 教 授 宮 原 恒 豊 教 授 岩 崎 博 教 授 大 隅 一 政 教 授 鎌 田 進 教 授 河 村 洋（東京理科大学）

博士論文の要旨

望月哲朗

放射光科学の発展により急速に増加した利用者の強力な光源への欲求と挿入光源の発達に伴い、従来の放射光施設において挿入光源を用いた高輝度放射光ビームラインが設置されてきている。さらには高い蓄積電子エネルギーの実験施設を建設による、より高輝度な光源が追求されている。しかし、高輝度光源はその放射光の放射パワーも格段に大きくなり、特に放射の発散角度が小さくなることにより放射のパワー密度は4～5桁も高くなる。放射光を光源から実験ハッチまで輸送するビームラインには、この様な高密度の放射光を実験に利用するために様々な素子があり、これらは直接間接に放射光のパワーに曝される。そして、このビームラインが健全であることが高輝度放射光を利用するための基盤となる。

1990年に稼働を開始した高エネルギー物理学研究所のARに設置されたアンジュレータ光源ビームラインNE3の建設に際し、その高熱負荷に耐えるビームライン素子の熱負荷と冷却の検討を行い、高輝度光源のビームラインに設置する素子の開発を行うことにした。設計においては、素子の機能と熱負荷条件から冷却のモデルを用いて冷却方法の評価を行い、制作に当たっては素子の冷却の確認を有限要素法により行った。さらに、ビームラインに設置して冷却の評価を行い、さらに高い熱負荷のビームラインでの冷却とその限界についての検討を行った。

分光器第一結晶は、ビームラインの利用においてそのX線の質を左右する重要な素子であり、従来の水冷却方式によるSi結晶を用いてビームラインでテストをおこなった。その結果、結晶表面での最大熱負荷密度で 1 W/mm^2 までは冷却に破綻は生じないことがわかった。この場合の全熱負荷は 185 W であった。NE3では常時使用する条件において最大熱負荷密度が 5 W/mm^2 となり水冷では不十分である。そこで、この様なパワー密度の大きなビームラインに適していると考えられるSi結晶の液体窒素冷却方式を試験した。このために、結晶の駆動を計算機によるフィードバック制御を行う出射位置固定2結晶分光器を制作し、液体窒素冷却結晶により5～30keVのスペクトルを短時間で測定できる機能を持ったものとした。液体窒素冷却によるSi結晶は、試験を行った全範囲である全熱負荷で 815 W 、最大熱負荷密度で 4.3 W/mm^2 まで分光特性が悪くならないことが確認できた。

さらにその熱変形による結晶表面の曲率半径の変化を考慮すると最大 30 W/mm^2 の熱負荷密度にも耐えるものと考えられる。これは、次世代大型放射光施設の高輝度光源を持つビームラインでの使用においても十分な冷却性能である。

以上のように、高輝度ビームラインの耐熱素子の設計と製作を温度計算モデルと数値解析方法を利用して行い、実際にこれらの素子をアンジュレータビームラインに設置して、計算モデルと数値解析方法を用いたビームライン素子の設計が有効であることを確認できた。また、分光結晶の冷却方法について系統的に検討し、様々な冷却方法の適用限界を見極めた。このようにビームライン全体について一貫した冷却の検討を行い設計製作しその限界について検討したことは初めてである

〈論文審査結果〉

望月哲朗君の論文は審査会において次のような評価を受けた。望月君が今回提出した学位論文に記述されている個々の技術は既に開発されているもので特段の独創性があるとはいえないが、熱解析の手法を放射光科学にもちこみ成功させたことが最も評価されるということである。本研究以前の放射光利用のためのビームライン建設においては、一言でいえば感に頼って耐熱設計をしていたといえる。PF 2.5GeV偏向電磁石からの放射光利用で始まったPFにおける放射光科学では当初電流値が70mAであったので直入射で受けるビームライン素子は適当な冷却パイプを施した構造、モノクロメーター結晶は間接冷却法によって直接に結晶を冷却せずとも足りる事情にあった。それでも発光点から35m地点にある白色放射光を受ける相転移に伴う結晶構造変化の研究において結晶温度が70度上昇することが知られ、いずれビームライン技術として冷却の定量評価と見通しをつけることの必要性が認識され始めた。しかしながら適切な人材を得ないまま放射光ビームラインは20本以上ほとんど計算なしに製作された。この間PFにおいては次期計画としてスーパーPF計画、世界的には第3世代大型高輝度光源であるESRF, APS, Spring-8が立案され、素晴らしく低エミッタンス・高輝度放射光になることが指摘され、本学位論文の骨子であるビームライン素子と結晶の冷却については種々の材質、媒質、形状等の研究が推進された。一方トリスタン入射・蓄積リングにおける真空封止アンジュレーターからの高輝度放射光が実現するに及び望月君のもっている原子炉の熱解析技術がビームラインNE3の設計においていかに発揮されることになった。すなわちビームライン製作の初めに熱解析を行った最初のビームラインであること、放射光の波長、発散角、輝度、熱分布を考慮して各ビームライン素子に最適の冷却方式を考案し、製作し、実験データを取り各々の冷却の限界を見きわめたこと、液体窒素冷却のモノクロメーターの製作も行ったこと、次世代大型高輝度放射光冷却に対する冷却と問題に対する見通しをつけたことが高く評価され合格とする。