

演習課題 16: 超伝導高周波加速空洞—“電磁気学・超伝導・加速器科学の面白さを堪能しよう”—

高周波加速空洞とは、金属で出来た空洞（図 1）の中に高周波（マイクロ波）を入れて、マイクロ波（RF）が作る電場で電子や陽電子などの荷電粒子を加速する装置のことで、加速器の心臓部です。銅など、電気伝導率の高い材料を使って常温で運転する常伝導高周波空洞と、ニオブなどの超伝導材を使って 4.2~2K の極低温で運転する超伝導高周波空洞の二つがあります。超伝導高周波空洞は、現在推進されている国際リニアコライダー計画（ILC）の中核技術です。演習では世界最高の高電界超伝導空洞（図 1, イチロー空洞）の開発現場に接し、加速器科学の面白さを体験学習します。電磁気学による空洞設計法の勉強/空洞 RF パラメータの常温での測定/超伝導空洞の 2K での性能測定/ニオブ材の超伝導特性（ H_{c1} 、 H_{c2} …）の測定などを行います。これらを通して電磁気学の面白さ、超伝導の威力、そして加速器科学の面白さを肌で感じてもらいます。

最初に電磁気学を使って解析的（手計算）に解ける常伝導円筒空洞を設計します。そして、予め用意した常伝導円筒空洞の共振周波数、Q 値（共鳴バンド幅）、電磁場モードのポラリティーを測定し、計算と比較します。この共鳴現象の観察（図 2）は、原子核や素粒子の共鳴現象を理解する上で非常に役立ちます。また、振動現象に於けるモノポール・ダイポール・・・などの意味をはっきり理解でき、電磁気・原子核物理（原子核の集団運動）の理解に役立ちます。次に有限要素法による空洞設計コードでイチロー 9 セル空洞（図 1）の中央セルからなるイチロー単セル空洞を設計します。そして、用意したイチロー単セルニオブ超伝導空洞を液体ヘリウムで 2K に冷してその空洞性能を測定します。また、ニオブサンプルの超伝導特性を 8~1.5K の温度領域で測定し、理論加速電界を実験的に求め、空洞試験結果と比較します。ここでは、超伝導空洞の醍醐味を味わってもらいます。

演習課題 16 は、電磁気・超伝導・物性・加速器科学・高エネルギー物理と広範囲なサイエンスを含みます。大学ではできないユニークな内容です。この演習は、学生が電磁気・物性・原子核・素粒子物理を習得するに当たり、現象を具体的に理解するのに役立つよう意識的に設計されています。演習はハードですが、10 日間没頭してみませんか。

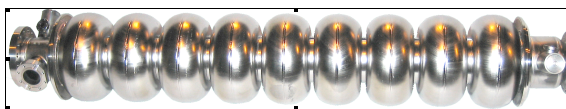


図 1 : ILC 用高電界超伝導加速空洞（イチロー空洞）理論上 51MV/m の加速電界が可能でその数字に因んでイチロー空洞と名付けられています。フランジや液体ヘリウムタンク用ベースプレート以外は、全てニオブ製です。ILC の第一期（500GeV）の衝突マシンでは 3.5 km に及ぶトンネルの中にこのような空洞が 16000 台据え付けられます。



図 2 : イチロー中央単セル空洞の共鳴周波数の測定例演習では、各共鳴モードの周波数、Q 値、ポーラリゼーションを測定します。