



151 ファントムでは、表皮効果の影響が顕著に現れ、表面近傍に限り加温されたのに対し、粘土ファントムでは深部まで一様に加温されている。

以上の結果より、臨床応用を検討するためには、導電率は重要なパラメータであることが示された。また、電磁界解析において、励振アンテナをモデル化することは、実際の共振現象を共振器内部に模擬するためには重要であることを示している。

第 6 章では、第 5 章の結果を踏まえて人体筋肉の電気特性値を模したオリジナルファントムを作成し、励振アンテナの設置位置の変更による被加温体の深部加温の検討を数値解析と加温実験から述べている。

数値解析では、垂直 L 型アンテナ 1 本を共振器内ファントム中心の左側から共振器正面側に 22.5cm, 45cm とファントムに沿って平行移動することにより、ファントム中心断面の深部領域に温度上昇が観測されている。加温実験を行ったところ、数値解析と同様な結果が得られている。例えば、垂直 L 型アンテナを共振器正面側に 45cm 移動した場合、ファントム長さ方向中心断面の深部温度上昇は 1.8℃となっている。また、第 4 章の結果を利用し、垂直 L 型アンテナ 2 本（入力電圧が同相・逆相）を用いて共振器内ファントム中心から互い違いに共振器正面側・背面側へ、オリジナルファントムに沿って 45cm 平行移動した際に、同様な温度上昇が得られ、垂直 L 型アンテナ 1 本より、断面内部は均一に加温される傾向がみられている。また、垂直 L 型アンテナ 2 本で入力電圧の位相が同相の場合、ファントム長さ方向中心断面の温度上昇は 1.9℃となった。

第 7 章では、①第 6 章の垂直 L 型アンテナ 1 本の設置方向を変更し、オリジナルファントムに沿うように水平 L 型アンテナを設置した場合の加温分布を求めるために数値解析と加温実験について述べている。

②局所選択加温を目指すために、被加温体に導体キャップを装着した際の加温分布を数値解析と加温実験により求めている。③上記①の条件で、様々な身長を持つ癌治療患者を想定し、身長差による共振周波数の変化を検討している。④上記①の条件で、人体全体を筋肉と仮定して円柱形状でモデル化し、血流がある場合を想定した数値解析を行っている。

その結果、①では数値解析結果と加温実験結果ともに、加温分布はほぼ一致している。加温実験結果として、ファントム長さ方向中心断面の深部領域に 2.1℃の温度上昇が得られている。②も同様に数値解析結果と加温実験結果はほぼ一致している。導体キャップ装着領域のオリジナルファントム断面内の温度上昇は抑えることができている。導体キャップを使用することにより、被加温体の長さ方向の選択加温が可能であることを示している。ファントム長さ方向中心断面の温度上昇は 3.4℃となった。③では癌患者の身長差による共振周波数の変化について述べ、被加温体のサイズが変更されると共振周波数が変化することを示している。④では被加温体内に血流を模擬した場合でも、被加温体の深部加温が達成しうることを示している。

第 8 章では、本研究全体のまとめと今後の課題について述べている。

#### 審査結果の要旨

本論文は、従来の癌温熱治療装置と加温原理が全く異なる電磁波（RF 波）の共振現象に着目し、立体空洞共振器について検討している。人体の電気特性を模した被加温体を深部まで一様に加温することを目標にし、深部一様加温に至るまでのいくつかの基礎的・実験的検討が行われている。特に、

① $\lambda/4$  波長の垂直 L 型アンテナを共振器内ファントム中心の左側からファントムに沿って共振器正面側に平行移動することにより、被加温体の長さ方向中心断面の深部加温が可能になること、垂直 L 型アンテナ 2 本用いた場合、垂直 L 型アンテナ 1 本より一様な温度分布が得られたことは注目に値する。

②上記①の垂直 L 型アンテナ 1 本の設置位置を利用し、水平 L 型アンテナにした場合、深部一様加温が達成できている。加えて、臨床応用の検討として、導体キャップを装着した場合、癌患者の身長差を考慮した際の共振周波数の変化、血流を模したファントムの加温分布についても検討し、臨床応用への有益な情報も示している。

本研究で得られたこれら一連の基礎的・実験的知見は、立体空洞共振器を用いた RF 加温システムを構築する際に多大な貢献をなすものであり、工学分野で高く評価される。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分であると認定した。